U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE
National Technical Information Service

PB-255 456

AIR POLLUTION

APPENDIX C - ASSESSMENT OF AIR QUALITY IN FRANKFURT, FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY

NATO COMMITTEE ON THE CHALLENGES OF MODERN SOCIETY

PREPARED FOR
ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY

JUNE 1974

COMMITTEE ON THE CHALLENGES OF MOD

215207

PB 255 456

AIR POLLUTION

LUFTVERUNREINIGUNG

POLLUTION ATMOSPHERIQUE

REPRODUCED BY
NATIONAL TECHNICAL
INFORMATION SERVICE
U. S. DEPARTMENT OF COMMERCE
SPRINGFIELD, VA. 22161

Technical Report on the Conference on Low Pollution Power Systems Development, N.4

Proceedings of the Second Meeting of the Expert Panel on Air Pollution Modeling, N.5

Guidelines to Assessment of Air Quality (Revised) SO_2, TSP, CO, HC, NO_x and Oxidants, N.6*

Appendix A - Assessment of Air Quality in Ankara, Turkey

Appendix B - Assessment of Air Quality in St. Louis, Missouri, United States

Appendix D - Assessment of Air Quality in Oslo, Norway

Air Quality Criteria for Sulfur Oxides, N.7*

Air Quality Criteria for Particulate Matter, N.8*

Air Quality Criteria for Carbon Monoxide, N.10*

Control Techniques for Sulfur Oxide Air Pollutants, N.12*

Control Techniques for Particulate Air Pollutants, N.13*

Proceedings of the Third Meeting of the Expert Panel on Air Pollution Modeling, N.14

Air Quality Criteria for Nitrogen Oxides, N.15*

Control Techniques for Carbon Monoxide Emissions from Stationary Sources, N.18*

Control Techniques for Hydrocarbons and Organic Solvent Emissions from Stationary Sources, N.19*

Control Techniques for Nitrogen Oxide Emissions from Stationary Sources, N.20*

Air Quality Criteria for Photochemical Oxidants and Related Hydrocarbons, N.22*

Proceedings of the Fourth Meeting of the Expert Panel on Air Pollution Modeling, N.30

Symposium on Low Pollution Power Systems Development, October 1973, Ann Arbor, Michigan, USA, N.32

Final Report--Air Pollution Pilot Study, N.33*

Proceedings of the Fifth Meeting of the Expert Panel on Air Pollution Modeling, N.35

Symposium on Low Pollution Power Systems Development, November 1974, Düsseldorf, Federal Republic of Germany, N.38

---

*Also available in French

These documents may be obtained from the WHO Publications Centre, 1211 Geneva 27, Switzerland, or from the Air Pollution Technical Information Center, Office of Air and Water Management, Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina 27711, U.S.A. (Limited supply)

BIBLIOGRAPHIC DATA SHEET	1. Report No. 6	2.	3. Recipient's Accession No.
4. Title and Subtitle Air Pollution: Appendix C - Assessment of Air Quality in Frankfurt, Federal Republic of Germany (Pollution Atmospherique: Appendice C - Evaluation de la Qualite de l'Air a Francfort, Republique Federale d'Allemagne)			5. Report Date June 1974 6.
7. Author(s)			8. Performing Organization Rept. No.
9. Performing Organization Name and Address			10. Project/Task/Work Unit No. 11. Contract/Grant No.
12. Sponsoring Organization Name and Address NATO Committee on the Challenges of Modern Society, Brussels (Belgium)			13. Type of Report & Period Covered 14.

15. Supplementary Notes

16. Abstracts

In March 1970 the NATO-partners USA, Turkey and BRD decided to conduct comparative studies within the framework of an air pollution program. They wanted to demonstrate that it was possible to judge the status of the air in congested areas with the scientific instrumentarium available and that it was possible to draw principles for the planning of air quality from these results. This study differed from the previous two in that under regional planning need had grown to receive more information on the influence of settlement activities upon climatological and air quality conditions in congested areas. The aim was to get an instrument for decision for regional planning. The study, like the other two, looks at emission inventories and networks.

17. Key Words and Document Analysis. 17a. Descriptors

air pollution
Frankfurt, Germany
air quality data
monitoring

17b. Identifiers/Open-Ended Terms

17c. COSATI Field/Group

PRICES SUBJECT TO CHANGE

18. Availability Statement	19. Security Class (This Report) UNCLASSIFIED	21. No. of Pages 251
iw	20. Security Class (This Page) UNCLASSIFIED	22. Price

FORM NTIS-35 (REV. 10-73) ENDORSED BY ANSI AND UNESCO. THIS FORM MAY BE REPRODUCED USCOMM-DC 8265-P74

Lufthygienisch-meteorologische Modelluntersuchung in der Region Untermain.

5. Arbeitsbericht.

Juni 1974

Environmental Protection Agency
Library Systems Branch, Room 2903
401 M Street, S.W.
Washington, D.C. 20460

Environmental Protection Agency
Washington, D.C. 20460

Regionale Planungsgemeinschaft Untermain · Frankfurt am Main

COLOR ILLUSTRATIONS REPRODUCED
IN BLACK AND WHITE

Vorwort

Dieser Arbeitsbericht, der zugleich Abschlußbericht für die vergleichende Studie der CCMS-WORKING-GROUP ist und damit eine Zäsur darstellt für die lufthygienisch-meteorologische Modelluntersuchung, ist der gegebene Anlaß, einige Worte des Dankes all denen zu sagen, die mit großem Interesse und ebensolchem Einsatz dazu beigetragen haben, daß die Untersuchung so erfolgreich und so reibungslos abgewickelt werden konnte.

In erster Linie gilt unser Dank dem Bundesminister des Innern und seinem federführenden Referenten, Herrn Ministerialrat Goerke, sowie den Herren Regierungsdirektor Weber und Oberamtsrat Hörle, die mit großem Interesse und eigenen Beiträgen unsere Arbeit verfolgt haben und alle Schwierigkeiten, die sich im Laufe der Zeit ergaben, aus dem Wege räumten. Unser Dank gilt in gleicher Weise dem Hessischen Minister für Landwirtschaft und Umwelt und seinem federführenden Referenten, Herrn Regierungsdirektor Fricke, der ebenfalls alles unternommen hat, um die Untersuchung zu unterstützen und die sich häufig aufbauenden Hindernisse zu überwinden.

Unser Dank gilt allen Wissenschaftlern, die in diesem und den vorhergehenden Arbeitsberichten beredtes Zeugnis von ihrer Arbeit und dem interdisziplinären Geist gegeben haben. Sie haben durch ihre wissenschaftliche Leistung und die termingemäße Abwicklung dazu beigetragen, daß der Untersuchungsablauf fristgemäß eingehalten werden konnte.

Wir freuen uns, an dieser Stelle ein Dankeswort der Euratom in Ispra sagen zu können, die seit nunmehr schon fast einem Jahr hervorragende Wissenschaftler zur Verfügung stellt und einen wesentlichen Beitrag zur Bewältigung der schwierigen Aufgaben leistet.

Nicht zuletzt gilt unser Dank den amerikanischen und türkischen Kollegen, mit denen uns ein herzliches Verhältnis verbindet, und die uns mit ihrer Uneigennützigkeit manche Untersuchungsgänge erspart haben. Für alle stellvertretend seien hier nur die Herren Dr. Jones, Ozolins und Prof. Miraboglu genannt. Wir bedauern, daß die Kontakte mit den USA und der Türkei nach Abgabe dieses Berichtes nun abreißen werden. Wir würden es begrüßen, wenn sich die Gelegenheit ergeben würde, auf ähnlicher Basis wieder einmal zusammenarbeiten zu können.

Die lufthygienisch-meteorologische Modelluntersuchung wird indessen fortgeführt und erst mit einem Bericht im Sommer 1975 abgeschlossen werden. Die Ergebnisse werden wir wie bisher allen Interessenten im In- und Ausland, insbesondere den Teilnehmern an der gemeinsamen Studie, zur Verfügung stellen.

Preface

The presentation of this work report is a good opportunity to thank all those who contributed with great interest and engagement to the very successful and smooth conducting of this study. This work report is at the same time the final report for the comparative study of the CCMS-WORKING-GROUP and therewith the report is a ceasura for the airhygienic-meteorological model investigation.

First of all we would like to express our thanks to the Bundesminister des Innern and his referee, responsible in this field, Ministerialrat Goerke as well as Regierungsdirektor Weber and Oberamtsrat Hörle who took great interest in our work and made their contributions and eliminated all problems coming up during the period of study. We would also like to thank the Hessischer Minister für Landwirtschaft und Umwelt and his referee, responsible in this field, Regierungsdirektor Fricke who did everything possible to support the study and overcome obstacles frequently in our way.

We feel very obliged to all scientists who in this work report and in the ones preceding gave full evidence of their work and their interdisciplinary spirit. Their performance in the scientific field and their meeting of all due-dates contributed to the completion of the study within the given time.

We are glad to have the opportunity to thank Euratom in Ispra for providing us with excellent scientists for nearly one year up to date who made a substantial contribution to overcome our difficult tasks.

Last not least, we render our thanks to our American and Turkish colleagues with whom we are in very close contact. Due to their unselfish attitude they saved us many parts of the study. In deputy for all we would like to mention Messrs. Dr. Jones, Ozolins and Professor Miraboglu. We regret that our contacts to the USA and Turkey will be broken off after the publication of this report. We would appreciate very much – if there is a chance in the future – to cooperate with them on a similar basis.

The air quality – meteorological study will in the meantime be continued and be completed with the publication of a report during the summer 1975. The results of this will be available to all parties interested at home and abroad, above all to the participants of the joint study.

Sander

(Sander)

Verbandsdirektor (Director of the Association)

A. von Hesler

I Vergleichende Betrachtung der drei NATO-Studien

Als sich die NATO-Partner USA, Türkei und BRD im März 1970 im Rahmen einer Luftreinhaltestudie entschlossen, vergleichende Untersuchungen durchzuführen, weil sie demonstrieren wollten, daß der Lufthaushalt in Ballungsgebieten mit dem vorhandenen wissenschaftlichen Instrumentarium beurteilt und daraus Grundlagen für Luftreinhaltepläne gewonnen werden könnten, waren sowohl Ausgangslage als auch Probleme sehr unterschiedlicher Natur.

Studie St. Louis

In den USA stand die Entwicklung von Standards für die Luftreinhaltung im Vordergrund. Der Raum St. Louis bot sich aus mancherlei Gründen für die Durchführung der Untersuchung an. Insbesondere interessierten die Gesichtspunkte, die aus der Zugehörigkeit der Region zu zwei Staaten und der Tatsache, daß es eine Reihe von lokalen Luftreinhalteprogrammen gab, folgten. Im Teil Missouri der „St. Louis Interstate Air Quality Control Region" sind zur Verhütung und Kontrolle der Luftverschmutzung drei Kommissionen tätig. Hinzu kommt die „Division of Air Pollution Control of the Illinois Environmental Protection Agency", die die Verantwortlichkeit für die Luftverschmutzungsüberwachung in allen Teilen von Illinois hat.

Entsprechend der Zielsetzung wird in der St. Louis Studie besonderer Wert auf die Schätzung der Emissionen für SO_2 und Staub in einer ersten Phase und für CO, NO_x, H_2O_2 und Oxidantien in der zweiten Phase der Untersuchung gelegt. Die erste Phase der Untersuchung wurde im Herbst und Winter 1970–71, die zweite während des Jahres 1972 durchgeführt.

Das Untersuchungsgebiet umfaßt rund 12000 km^2 mit einer Bevölkerung von rund 2,3 Mio. Personen (1970). Es ist ein leicht hügeliges Gebiet mit Höhen zwischen 146 und 195 m über NN, das von den Flüssen Mississippi und Missouri, der nördlich der Stadt St. Louis in den Mississippi mündet, durchflossen wird. Die meteorologischen Bedingungen entsprechen denen der meisten Städte in ebenen Gebieten. Die Region St. Louis bot sich für die Untersuchung auch deswegen an, weil hier, neben den in anderen stark belasteten Städten besonders ins Gewicht fallenden Verkehrsemissionen, die Industrie- und Hausbrandemissionen eine Rolle spielen.

Studie Ankara

Sehr unterschieden hiervon sind die Voraussetzungen für die 2. Studie, die von der Türkei für die Hauptstadt Ankara durchgeführt wurde. Ankara hat sehr akute Luftverschmutzungs-Probleme, die sich vorwiegend aus seiner natürlichen Lage und den Heizungsmethoden ergeben.

Auch hier lagen bereits Studien über die Luftverschmutzung, die früheste aus dem Jahre 1926, vor. Noch vor dem NATO-Projekt wurden vier Studien, die sich unmittelbar mit dem Problem der Luftverschmutzung befassen, von dem „Scientific and Technical

I. Comparison of the three NATO-Studies

In March 1970 the NATO-partners USA, Turkey and BRD decided to conduct comparative studies within the framework of an air pollution program. They wanted to demonstrate that it was possible to judge the status of the air in congested areas with the scientific instrumentarium available and that it was possible to draw principles for the planning of air quality from these results. Starting-points as well as problems were of a very different nature.

St. Louis Study

In the USA the development of standards for air quality was the primary motive. The St. Louis area was suitable for various reasons for this study. Particularly two viewpoints were of interest resulting from the fact that the region transcends two states and that there were already a number of local air pollution programs. In the Missouri part of the "St. Louis Interstate Air Quality Control Region" three commissions are working in order to prevent and control air pollution. In addition to this, there is the "Division of Air Pollution Control of the Illinois Environmental Protection Agency", responsible for the control of air pollution in all parts of Illinois.

According to the primary motive of the St. Louis study, much importance was laid upon the assessments of sulfur oxide and particulate pollution in the first phase, and carbon monoxide, nitrogen oxides, H_2O_2 and oxidant pollution in the second phase of the study. Phase I of the study was conducted during the fall and winter of 1970–71, phase II was conducted during 1972 .

The study area occupies about 12,000 square kilometers containing a 1970 population of approx. 2.3 millions. The area is a gently rolling terrain with elevations ranging from 146 m to 195 m above sea level being passed by the Mississippi and Missouri rivers, the latter entering the Mississippi river north of the City of St. Louis. The meteorological conditions correspond to those in most cities in flat areas. The St. Louis region was als appropriate for the study because at this place industrial and combustible emissions are of importance besides traffic emissions which are of great significance in other very polluted cities.

Ankara Study

The prerequisites for the second study conducted by Turkey for the capital city Ankara were very different. Ankara suffers from acute air pollution problems resulting primarily from its natural location and its heating methods.

Here, too, studies on air pollution were at hand, the first one conducted as early as 1926. Even before the starting of the NATO-project, four studies dealing directly with the problem of air pollution were ordered by the "Scientific and Technical Research Council of

Research Council of Turkey (TBTAK)" in Auftrag gegeben. Die Themen waren Brikettierung von Kohle zur Reduzierung der Staubemissionen; Fernheizung in Ankara; Verbesserung der Dampfkessel; Vereinheitlichung der Überwachungsmethoden.

Turkey (TBTAK)". The subjects covered were: Briquetting of coal to reduce particulate pollution, district heating, improvement of boilers and standardization of monitoring methods.

Auch hier wird besonderer Wert auf die Prognose der Emissionen gelegt, mit dem Ziel, Grundlagen zu schaffen für Maßnahmen auf dem Heizungssektor. Die Luftverschmutzung durch Industrie spielt dagegen kaum eine Rolle, da Ankara als typische Verwaltungsstadt nur wenige Industriebetriebe zählt. Die erste Phase der Untersuchung, die im Herbst 1971 abgeschlossen wurde, beschäftigte sich mit der Schätzung von SO_2 und Staub. Gegenstand der zweiten Phase – begonnen im Oktober 1971, beendet im August 1972 – war die Schätzung von Kohlenwasserstoffen, NO_x und CO.

Special attention was paid to the prediction of emissions aiming at developing principles for measures on the heating sector. However, the air pollution caused by industry is of minor importance, because in Ankara – being the administrative center – only few industrial companies are located. The first phase of the study, completed in fall 1971, concerned the assessment of sulfur oxide and particulate pollution The assessment of hydrocarbons, oxides of nitrogen, carbon monoxide was the subject of phase II of the study. This phase started in October 1971, and was completed in August 1972.

Das Untersuchungsgebiet umfaßt rund 250 km² mit einer geschätzten Bevölkerung von rund 1,2 Mio. Personen (1969). Ankara liegt auf der Anatolischen Hochebene rund 900 m über NN, fast vollständig umgeben von Hügeln mit einer Höhe von 1000 bis 1200 m über NN. Die schwachen Windströmungen, vorherrschend aus Nordost, an zweiter Stelle aus Südwest, beruhen allein auf dem Berg-Tal-Windsystem und treten deswegen auch nur am frühen Morgen und in der Nacht auf. Im Winter kommen häufig Inversionen, begleitet von starkem Nebel, hinzu. Eine ganz entscheidende Komponente, der bisher allerdings relativ wenig Beachtung geschenkt worden ist, ist die geringe Luftfeuchtigkeit.

The study area covers about 250 km² with an approximate 1969 population of 1.2 millions. Ankara is situated in a basin on the Anatolian Plateau, about 900 m above sea level, almost completely surrounded by hills between 1,000–1,200 m above sea level. The light breezes primarily from the North East, secondarily from the South West, are mountain-to-plain breezes blowing in the early morning and at night. During winter, inversions, accompanied by thick fogs, are quite frequent. Another component up to date not noted very much is the low humidity.

Studie Untermain

Untermain Study

Während die Studie Ankara trotz der vorhandenen Vorarbeiten im wesentlichen an das Projekt der USA angeglichen werden konnte, unterscheidet sich die Studie „Region Untermain" durch eine andere Ausgangsbasis und – daraus folgend – eine viel weitergehende Zielsetzung. Im Rahmen der Regionalplanung war es notwendig geworden, umfassende Informationen über die Auswirkungen der Siedlungstätigkeit auf die klimatischen und lufthygienischen Bedingungen im Verdichtungsgebiet zu erhalten. Darüber hinaus war gefordert worden, mit Hilfe eines mathematischen Modells geplante Siedlungvorhaben in ihrer Auswirkung auf eben diese Bedingungen simulieren zu können und damit ein Entscheidungsinstrument für die Regionalplanung in die Hand zu bekommen.

In contrast to the Ankara study which – in spite of the preparatory work already done – could be substantially adapted to the USA project, the Region Untermain study showed a different starting-point resulting in a more extensive objective. Under the regional planning, need had grown to receive more information on the influence of settlement activities upon climatological and air quality conditions in congested areas. Beyond this, request had been made to simulate settlement projects with the help of a mathematic model and to study their influence upon these conditions. The aim was to get an instrument for decision for regional planning.

In der Region Untermain waren die Voraussetzungen insofern günstig, als bei der Entwicklung des Regionalen Raumordnungsplanes klimatische und lufthygienische Fragen eine besondere Bedeutung erhielten und lufthygienische Untersuchungen für Teile des Gebietes vorhanden waren.

In the Region Untermain, the prerequisites were advantageous with respect to special attention having been paid on climatological and air quality issues when developing the regional area planning and, in addition, air quality studies for parts of the region were at hand.

Das Untersuchungsgebiet umfaßt eine Fläche von rd. 1400 km² mit einer Bevölkerung von rd. 1,8 Mio. Menschen. Oberflächengestalt, Vegetation und Siedlungsstruktur variieren sehr stark.

The study area covers about 1,400 km² with an approximate population of 1.8 millions. Morphological structure, vegetation and settlement structure vary to a very large extent.

Der Landschaftsraum gliedert sich in drei stark voneinander abweichende Teile: Mittelgebirge (rd. 900 m

The region is subdivided into three parts varying very much from each other: highlands (approx. 900 m above

über NN) mit zum Kerngebiet hin abfallenden stark gegliederten Hängen; hügeliges Ackerbaugebiet und Flußebene (100 m über NN).

Das Klima wird durch die Beckenlage des Gebietes, das von den Mittelgebirgszügen Taunus im Nordwesten, Vogelsberg im Nordosten, Spessart im Osten und Odenwald im Süden umgeben ist, geprägt. An 40% aller Tage stellen sich austauscharme Wetterlagen ein, die in den kritischen Jahreszeiten zu lang anhaltenden Inversionen führen. An rd. 200 Abenden im Jahr wird das Klima durch Kaltluftströme aus dem Taunus verbessert.

Die Vegetation ist entsprechend den orographischen und klimatischen Bedingungen vielgestaltig. Im Untersuchungsgebiet liegen unterschiedliche Waldbestände in verschiedenen Höhenlagen, Ackerbaugebiete und Weideland mit unterschiedlichen Bodengüten, Obstbaumplantagen, Gartenbaugebiete und Brachland.

Die Siedlungsgebiete weisen alle denkbaren Bebauungsarten auf: Hochhäuser, städtische Gebiete mit hohen Wohndichten, Siedlungen, Dorfgebiete, Geschäftsgebiete, Industrie- und Gewerbegebiete (Raffinerie), Kraftwerke, Flughafen. Der Flughafen Frankfurt liegt mit 211 728 Flugbewegungen (1972) an zweiter Stelle in Europa.

Im Testgebiet liegt der Main mit einer Länge von rd. 40 km und sehr unterschiedlichen Verschmutzungs- und Wärmegraden. Das Gebiet wird außerdem von 2 Autobahnen, Schnellstraßen und zahlreichen Eisenbahnlinien durchzogen, die aufgrund der zentralen Lage sämtlich hohe Verkehrsdichten aufweisen.

In der Region Untermain sind ebenso wie in der Region St. Louis Emittenten aller drei Bereiche – Industrie, Hausbrand und Verkehr – so daß auch aus dieser Sicht eine über den lokalen Bezug hinausgehende Aussage erwartet werden durfte.

Aufgrund der unterschiedlichen Ansätze und Zielsetzungen variieren auch die Meßnetze und die gemessenen Parameter stark.

Emissionskataster

Für die Regionen St. Louis und Untermain wurden ausführliche Fragebögen für die Erstellung des Emissionskatasters erarbeitet. In der Region Untermain dienten als Grundlage hierfür die bereits vorhandenen Fragebögen der EPA. Das hierauf aufgebaute Emissionskataster unterscheidet sich in beiden Regionen nur deshalb, weil nicht alle Daten in gleicher Weise verfügbar waren. In Ankara war eine Erhebung dieser Art nicht erforderlich, da nur wenig Industrie vorhanden ist, und die meisten Punktquellen Regierungsgebäude sind, von denen die Angaben leicht zu erlangen waren.

St. Louis und Ankara

In der Region St. Louis wurden 111 Großemittenten als Punktquellen einzeln erfaßt. Alle übrigen Emitten-

sea level) with very differently structured hills slowing down to the core area; hilly agricultural areas and the plain in the river area (100 m above sea level).

The climate is characterized by the basin structure of the area, being surrounded by highlands such as the Taunus in the North West, the Vogelsberg in the North, the Spessart in the East and the Odenwald in the South. 40% of all days show poorly exchangeable weather conditions resulting in critical seasons to long-lasting inversions. During 200 evenings of the year the climate is improved by cold breezes from the Taunus.

The vegetation shows a great variety according to the orographic and climatological conditions. In the study area, the forest stands show all kinds of trees in different altitudes, there are agricultural areas and pastury lands with different quality of the soil, fruit cultures, horticultural areas and fallow land.

The settlement areas show all possible kinds of build-up areas: multi-story buildings, municipal areas with a high density in population, settlements, areas with villages, industrial- and business-regions (refineries), power plants, air port. In 1972, the Frankfurt airport ranks second in Europe with 211, 728 departures and arrivals.

The Main river crosses the study area with a length of about 40 km, having very different degrees of pollution and temperature. The area is – in addition to this – passed by two expressways, highways and several railroad lines which all come up with a high density in traffic due to the centralized location of this area.

In the Region Untermain just as in the St. Louis region all three emittors of all three source categories are to be found: industry, residential combustion and traffic. This will probably lead to gather information beyond this local area.

Owing to different starts and objectives, the net work and the parameters measured show high variation.

Emission Inventory

Detailed questionnaires were made for the emission inventory in the regions St. Louis and Untermain. In the Region Untermain the questionnaires were based upon those already prepared by the EPA. The emission inventory differs in these two regions only because all data were not available to the same extent. This was not a necessity for the Ankara study because of low industrialization and because most of the point sources were government buildings the data of which was easily to obtain.

St. Louis and Ankara

In the St. Louis area 111 major emittors were recorded as individual point sources. All other emittors

ten wurden zu den Flächenquellen gezählt, deren Emissionen mit Hilfe der Informationen über Bevölkerung, Industrie und Verkehr auf das Gitternetz verteilt wurden. In Ankara wurden 169 Punktquellen einzeln ermittelt, die übrigen Emittenten als Flächenquellen mit verschiedenen Methoden erfaßt.

Region Untermain

In der Region Untermain wurden 800 Großemittenten als Punktquellen einzeln erfaßt. Punktquellen mit einem SO_2-Auswurf von weniger als 1 kg/h wurden den Flächenquellen (ohne Verkehrsemissionen) zugerechnet. Die Flächenquellen wurden über den Wärmebedarf pro Einheitssiedlungsfläche (500 m x 500 m) ermittelt. Die Verkehrsemissionen wurden für die Städte Frankfurt (750 000 E) und Offenbach (110 000 E) unter Anwendung verschiedener Parameter gesondert erhoben.

Es ist erfreulich, feststellen zu können, daß bereits während der 1. Experimentierphase in anderen Teilen der BRD aufbauend auf dieser Konzeption auf breiter Basis mit der Erstellung von Emissionskatastern begonnen wurde.

Meßnetze

St. Louis

Während die Emissionskataster in ihrem Aussagegehalt relativ gleich bewertet werden können, sind die Meßnetze zur Feststellung der lufthygienischen und meteorologischen Parameter sehr unterschiedlich zu sehen. In St. Louis werden die meteorologischen Daten zur Eichung des Diffusionsmodells, obwohl während des Untersuchungszeitraumes mehrere meteorologische Stationen aufgestellt worden waren, nur von der Station des Flughafens „Lambert Field" genommen. Hier waren Klimadaten für den Zeitraum 1964 bis 1968 vorhanden. Sie wurden durch Daten für den Winter 1970–71 ergänzt. Wegen der oben geschilderten topographischen Situation waren die Daten von einer Station auch ausreichend. Schadstoffe wurden während der beiden Meßperioden Winter 1970/71 und Teile des Winters 1971/72 an relativ vielen Stationen kontinuierlich gemessen: CO an 15 Stationen; HC, NO_x und Oxidantien an 12 Stationen; SO_2 an 13 Stationen. Staub wurde diskontinuierlich an 45 Meßpunkten gemessen.

Ankara

In Ankara wurden meteorologische Parameter an 2 Stationen, 5 km nördlich und 15 km westlich der City, gemessen. Die Messungen stammten aus den Jahren 1964 bis 1968 und Herbst und Winter 1970/71. Zusätzlich wurde eine meteorologische Station an der Hygiene-Schule im Stadtteil Hifzisikha installiert, die ein Anemometer und einen Thermographen enthielt. Schadstoffe wurden während der beiden Meßperioden Oktober 1970 bis März 1971 und Oktober 1971 bis März 1972 gemessen. Für SO_2 und Staub war hierfür ein neues Meßnetz mit insgesamt 13 kontinuierlich messenden Stationen eingerichtet worden. In der Zentralstation waren außerdem Meßgeräte für HC, CO, Ozon und NO_2 installiert.

were added to the site sources the emissions of which were distributed with the information on population, industry and traffic upon the grid-co-ordinate system. In Ankara 169 point sources were individually recorded, all other emittors were registered as site sources by various techniques.

Region Untermain

In the Region Untermain 800 major emittors were recorded as individual point sources. Point sources with a SO_2-emission of less than 1 kg/h were accounted to site sources (without traffic emissions). The site sources were calculated on the demand per unit settlement area (500 m x 500 m). Traffic emissions for the cities of Frankfurt (750,000 inhabitants) and Offenbach (110,000 inhabitants) were separately made by using various parameters.

It is encouraging to know that already during the first phase of experimenting emission inventories were started based on this concept in other parts of the BRD on a large scale.

Net Works

St. Louis

Whereas the emission inventory can be evaluated on about the same basis, the net works for the assessment of air quality and meteorological parameters must be looked upon in a very different way. In St. Louis the meteorological data of the "Lambert Field" airport only were taken into account in order to validate the diffusion model, although in the study period several meteorological stations were installed. For this region meteorological data for the 1964–1968 period were at hand, which were completed with those from the winter 1970–71. Due to the above mentioned topographic situations data of one station were sufficient. Pollutants were continuously measured during the two periods in the winter 1970/71 and some time in the winter 1971/72 at comparatively many stations. CO at 15 stations, HC, NO_x and oxidants at 12 stations, SO_2 at 13 stations. Particulate pollution was measured discontinuously at 45 points.

Ankara

In Ankara meteorological parameters were measured at 2 stations, one 5 km north and one 15 km west of the city. The measurements derived from the period of 1964–1968 and from the fall and winter of 1970/71. In addition to this, a meteorological station at the Hygienic-School in the city district Hifzisikha was installed, containing an anemometer and a thermograph. Pollutants were measured from October 1970 to March 1971 and from October 1971 to March 1972. For SO_2 and particulate pollution the installation of a new net work with 13 stations with continuous measurments was made. Besides this, measuring instruments for HC, CO, Ozon and NO_2 were installed.

Region Untermain

In der Region Untermain waren die sehr differenzierte Oberflächengestalt und das Ziel, Aussagen insbesondere für austauscharme Wetterlagen zu erhalten, ausschlaggebend für ein außerordentlich umfangreiches meteorologisches Meßnetz. Insgesamt wurden 50 meteorologische Meßstationen aufgestellt. Als Grundlage für die Auswahl der Standorte sollte ein Infrarot-Wärmebild herangezogen werden, das zu dem Zeitpunkt jedoch noch nicht zur Verfügung stand. In Zukunft sollte jedoch auf Infrarot-Wärmebilder für die Findung von Meßstandorten nicht verzichtet werden.

Für die Verifizierung des „Bremer Modells" wurde zusätzlich auf frühere Daten, die von den Wetterstationen „Flughafen Frankfurt" und „Großer Feldberg" stammen, zurückgegriffen. Schadstoffe werden seit 1971 mit vier verschiedenen Meßnetzen ermittelt.

Seit Juli 1971 sind sieben kontinuierlich messende SO_2-Meßstellen über das Untersuchungsgebiet verteilt (s. Karte 14) in Betrieb. Mit einem zweiten Meßnetz wurden in der Zeit von April 1971 bis März 1972 an insgesamt 43 Meßstellen die mittleren und maximalen Konzentrationen von SO_2, NO_2, Phenolen, Fluoriden, Formaldehyden und Chloriden ermittelt. Mit einem dritten Meßnetz wurden in der Zeit vom 1. 7. 1971 bis zum 30. 6. 1973 an 203 Meßpunkten SO_2 und an 142 Meßpunkten Staub diskontinuierlich gemessen.

Schließlich wurden auch Bio-Indikatoren zur Ermittlung der mit Schadstoffen belasteten Gebiete eingesetzt. An 150 Stationen wurde der Flechtenbewuchs untersucht und damit eine Aussage über die Langzeitemissionswirkung erzielt. Daneben wurden in der Zeit vom 23. 11. 1971 bis zum 18. 5. 1972 an 35 Meßpunkten Flechtenexplantate ausgebracht, die Aussagen über einen wesentlich kürzeren Zeitraum ermöglichen. Dieser enorme Aufwand bei der Datenerhebung war notwendig, um die Unterlagen für das komplizierte Diffusionsmodell, das Aussagen für austauscharme Wetterlagen liefern soll, zu schaffen.

Der Vergleich der erhobenen Daten und angewendeten Meß- und Auswertungsmethoden sollte zum Abschluß der gemeinsamen Studie dreier Staaten noch einmal die Vielseitigkeit des Problems verdeutlichen, das bei der Fragestellung beginnt und der Datenverarbeitung endet. Für die an der Studie Region Untermain Beteiligten war die Zusammenarbeit mit den Kollegen aus den Vereinigten Staaten und der Türkei von außerordentlicher Bedeutung. Es ist besonders erfreulich, daß die Anregungen allseitig gewirkt haben und nun eine Studie im Sinne des Projektes Untermain in Zusammenarbeit zwischen den USA und der UdSSR mit den Städten St. Louis und Leningrad in Vorbereitung ist. Aufbauend auf unseren Erfahrungen wird diese Untersuchung sicher zu einem ähnlichen Meilenstein in der Geschichte der Planung und der Luftreinhaltung werden.

Mit diesem abschließenden NATO-Bericht ist für die Untersuchung in der Region Untermain auch eine wesentliche Phase beendet. Das Endziel der Unter-

Region Untermain

In the Region Untermain the very structured morphology and the aim to get more information on poorly exchangeable weather conditions are decisive for the development of an extraordinarily extensive monitoring net work. A total of 50 monitoring stations were installed. The basis for the selection of the location was to be an infrared-temperature-entropy diagram, not available at that time. In the future, however, infrared-temperature-entropy diagrams for the selection of measuring stations, should be used.

In order to verify the "Bremer Modell" earlier data collected from monitoring stations like "Frankfurt Flughafen" and "Großer Feldberg" were used additionally. From 1971 onward pollutant emissions are gathered in four different net works.

Since July 1971 seven continuously working SO_2-monitoring stations have been spread out over the study area (see map 14). With a second net work the medium and maximum concentration of SO_2, NO_2, phenols, fluorides, formaldehydes and chlorides were recorded at a total of 43 monitoring stations during the period of April 1971 till March 1972. A third net work collected SO_2-emissions at 203 monitoring stations and discontinuously particulate pollution at 143 stations during the period July 1, 1971 till June 30, 1973.

Finally, bio-indicators were also applied for assessing emissions in polluted areas. At 150 stations the growing of lichens was studied for getting information on long-term emission effects. Besides this, lichen explants were made at 35 monitoring stations giving information within a substantially shorter period of time. This enormous effort for data collection was required to gather more material for the complex diffusion model which is to convey information for poorly exchangeable weather conditions.

On the completion of the joint study conducted by three states, a comparison of data collected and monitoring and evaluating methods applied was done to illustrate the complexity of the problems, starting with the statement of the problem, ending with the evaluation of data. Those people participating in the Region Untermain study extremely profited by the cooperation with the American and Turkish colleagues. With pleasure it is stated that the implus affected all sides, now leading to a study – similar to the Untermain project – which is under preparation in the USA (St. Louis) and the Soviet Union (Leningrad). Based on our experience made this study will certainly be a milestone in the history of planning and air quality.

An important phase for the Region Untermain study comes to an end with the publishing of the final NATO-report. The final study objective, however, is

suchung ist jedoch erst dann erreicht, wenn das Diffusionsmodell für austauscharme Wetterlagen vorliegt. Es wird erwartet, daß dieser hohe Anspruch von den beteiligten Wissenschaftlern noch im Laufe dieses Jahres erfüllt werden kann.

Obwohl die Arbeiten noch nicht abgeschlossen sind, haben die gewonnenen Erkenntnisse nicht nur in der Form Beachtung gefunden, daß in anderen Städten der BRD mit ähnlichen Untersuchungen begonnen wurde, sondern sie sind bereits unmittelbar in die Regionalplanung eingegangen. Das ist insofern interessant, als bisher das Ziel, Immissionsverteilungen mit Hilfe eines Diffusionsmodells zu rechnen, noch nicht erreicht ist. Aufgrund der im 4. Arbeitsbericht veröffentlichten Immissionsdaten und insbesondere unter dem Eindruck der Aussagen aus der Flechtenzonierung sind einige Planungsvorhaben noch einmal einer gründlichen Prüfung unterzogen worden.

Außerdem haben die meteorologischen Untersuchungen zu dem bemerkenswerten Vorschlag im Rahmen eines städtebaulichen Wettbewerbs für einen Siedlungsschwerpunkt geführt, an dieser Stelle keine neue Stadt zu bauen, um die klimatischen Verhältnisse nicht zu verschlechtern. Zur Klärung dieser Frage wurden dann in erster Linie die Infrarot-Wärmebilder (siehe Karte I) vom gesamten Verdichtungsgebiet, geflogen am 26. 6. 1972, herangezogen. Zur weiteren Erläuterung der Aussagen sind in Zusammenarbeit mit Euratom/Ispra inzwischen auch Tracer-Experimente durchgeführt worden, über die in einem Sonderbericht in Kürze berichtet werden wird.

Schon die bisherigen Beispiele zeigen, welche Bedeutung in Zukunft dieses Instrument haben wird. In erster Linie wird es darum gehen, mit Hilfe des Diffusionsmodells vorhandene oder zu erwartende Luftbelastungen für bestimmte Räume zu ermitteln. Darauf aufbauend sollen mit Hilfe von Simulationen die zu erwartenden Auswirkungen von Planungsalternativen überprüft werden. Als Beispiele seien genannt:

1. Zusätzliche Immissionsbelastung durch die Ansiedlung eines Großemittenten
2. Zusätzliche Immissionsbelastung durch die Errichtung neuer Siedlungen
3. Veränderung der Luftströmungen durch die Errichtung neuer Siedlungen
4. Veränderungen der Luftströmungen durch den Bau von Dämmen oder Einschnitten
5. Qualitative Bestimmung der transportierten Luft in Abhängigkeit vom Weg
6. Quantitative Bestimmung der transportierten Luftmengen in Abhängigkeit von der Flächennutzung

In vielen Einzelfällen werden sich detaillierte Untersuchungen an die großräumigen Studien anschließen. Die Stadt Bad Homburg (40.000 EW) hat bereits ein Klimagutachten, das auf der lufthygienisch-meteoro-

not met before the diffusion model for poorly exchangeable weather conditions is submitted. There are expectations that this high demand will be fulfilled within this year by all scientists working in this field.

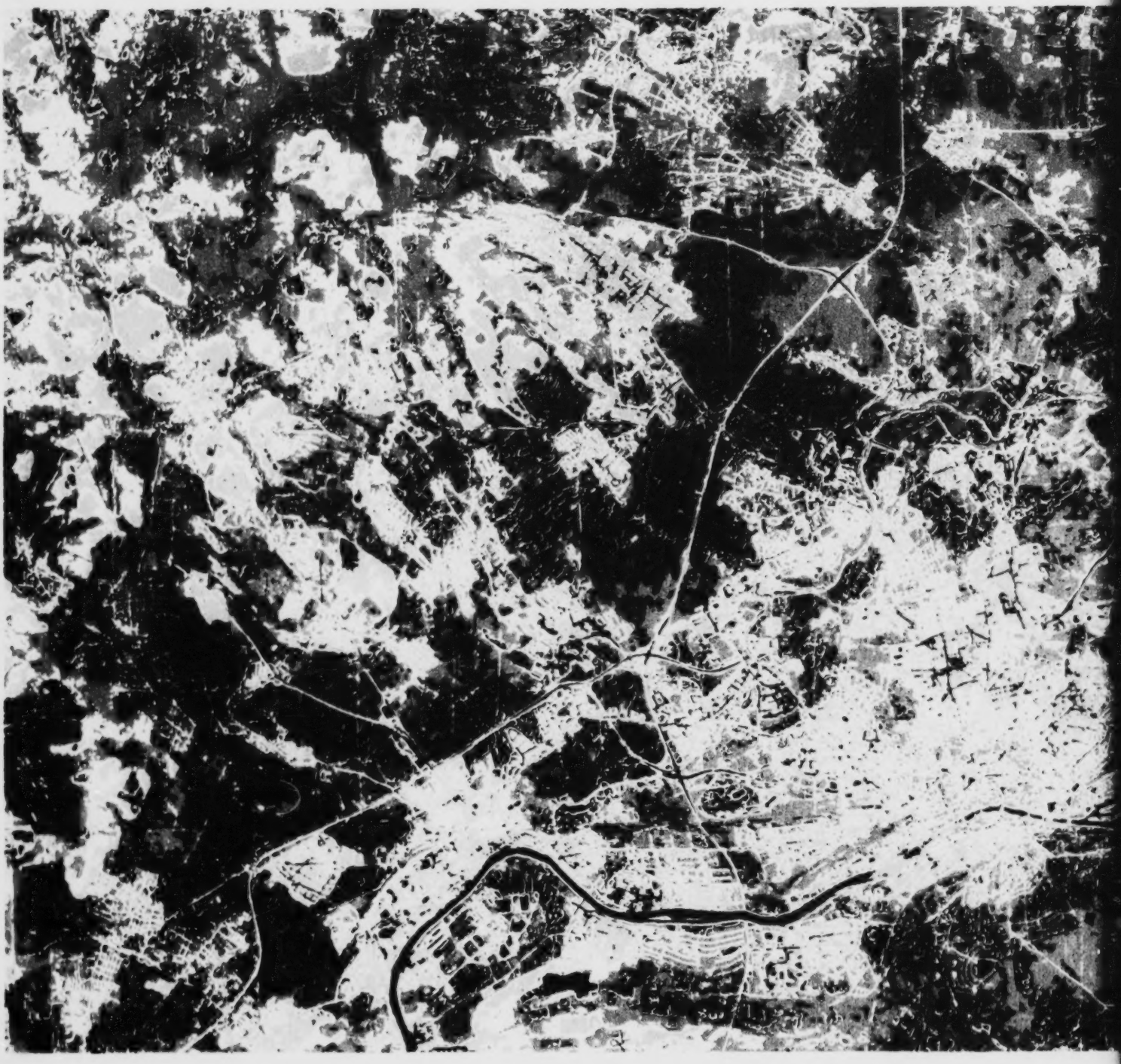
Although the study has not yet been finished, the experience gained did not only lead to the starting of similar studies in some BRD cities but also to incorporating the knowledge into regional planning. This is a remarkable point in view of the fact that the objective – the calculation of emission rates with a diffusion model – has not yet been achieved. Resulting from the publication of emission data in the fourth work report and furthermore particularly to the impressive information of the lichen zoning, several planning projects were once more thoroughly investigated.

Besides this, the meteorological studies contributed to the remarkable proposal – during a competition for city architecture for a settlement center – not to build a new city at a certain point in order to prevent the reduction of climatological conditions. The decision was made primarily on the basis of the infrared-temperature-entropy diagram (see map I) on the total area taken in the air on June 26, 1972. For further investigation tracer-experiments in cooperation with the Euratom/Ispra were conducted which will soon be published in a special report.

The up to date examples prove the future importance of this instrument. The primary aim will be the assessment of present or future air pollutant rates for designated areas by a diffusion model. Based on these rates with the help of simulations, the expected impact of planning alternatives should be studied. For example:

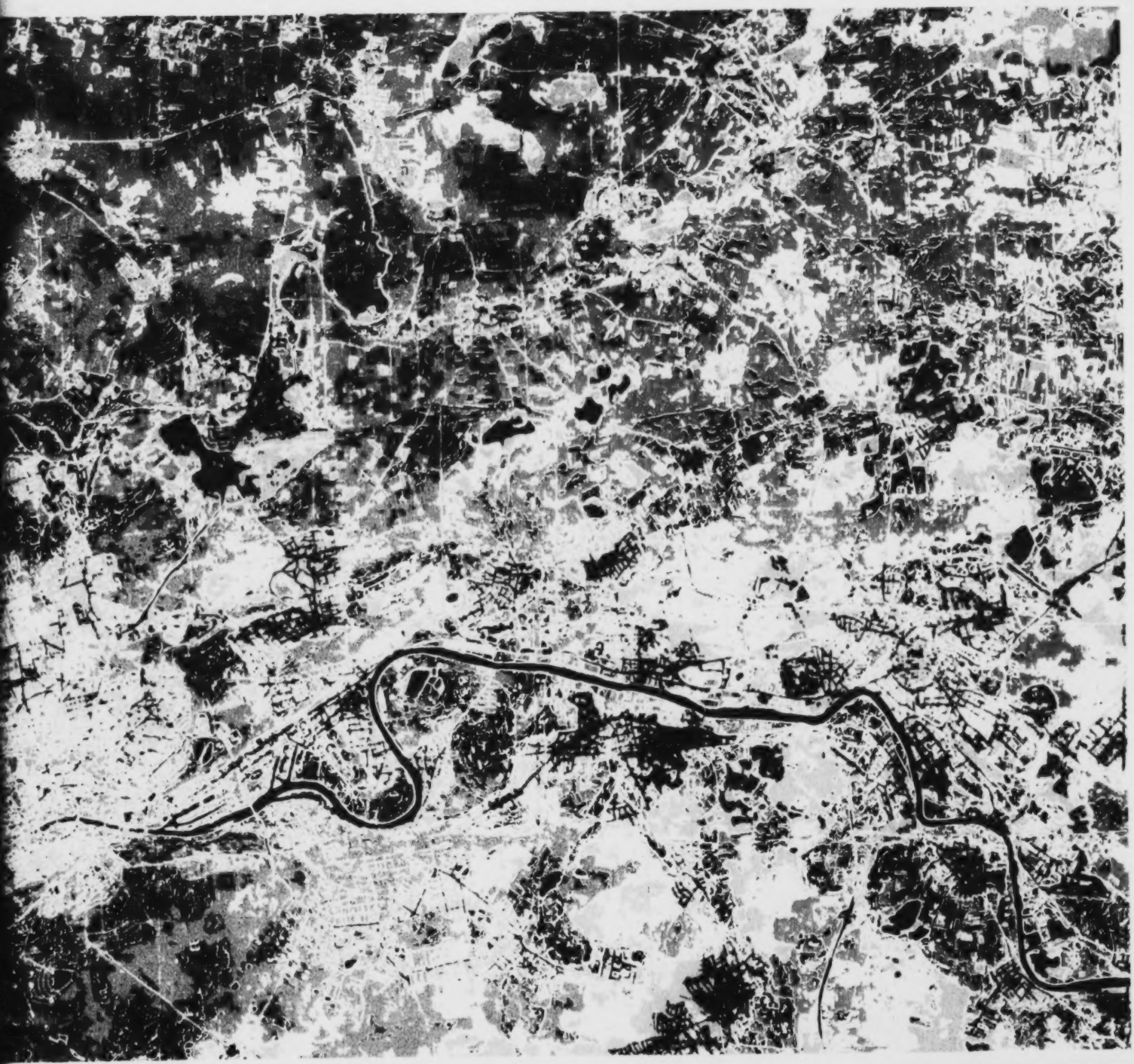
1. Additional immission loads by settlements of new major emittors.
2. Additional immission loads by establishing new settlements.
3. Changes of air flows by establishing new settlements.
4. Changes of air flows by new dams and trenches.
5. Statement on quality of transported air depending on the way.
6. Statement on quantity of transported air volumes depending on use of the area.

In many cases detailed studies will be the further results of spacious area studies. The city of Bad Homburg (40,000 inhabitants) ordered a climatological expert's report based on air quality – meteo-



Das Bild zeigt die mitternächtliche Temperaturverteilung im Rhein-Main-Gebiet bei einer austauscharmen Wetterlage im Sommer (26. 6. 1972, 1.
Mitteleuropa).
Die neun Farbstufen (rot bis dunkelblau) des Infrarot-Thermogramms aus dem Flugzeug entsprechen relativen Temperaturunterschieden (wa
Die gleichzeitig registrierten Temperaturwerte in den Stationen (2 m über Grund) des Sondermeßnetzes des Deutschen Wetterdienstes umfas
orange und variieren zwischen 13° C und 19° C.

The picture shows the temperature distribution at midnight in the Rhein-Main area during a weather situation with weak vertical exchange in
high pressure situation, nucleus Central Europe).
The nine shades (red to blue) of the infrared-thermogram taken from the plane correspond to the relative temperature differences (warm to co
The simultaneous registered temperature values at the stations (2 m above ground) in the special measuring net of the German Weather Ser
to orange and vary between 13° C and 19° C.



warm
warm

kalt
cold

n Sommer (26. 6. 1972, 1.25 Uhr, Hochdruckwetterlage, Kern

eraturunterschieden (warm bis kalt) der Bodenoberfläche.
n Wetterdienstes umfassen den Farbbereich hellblau bis

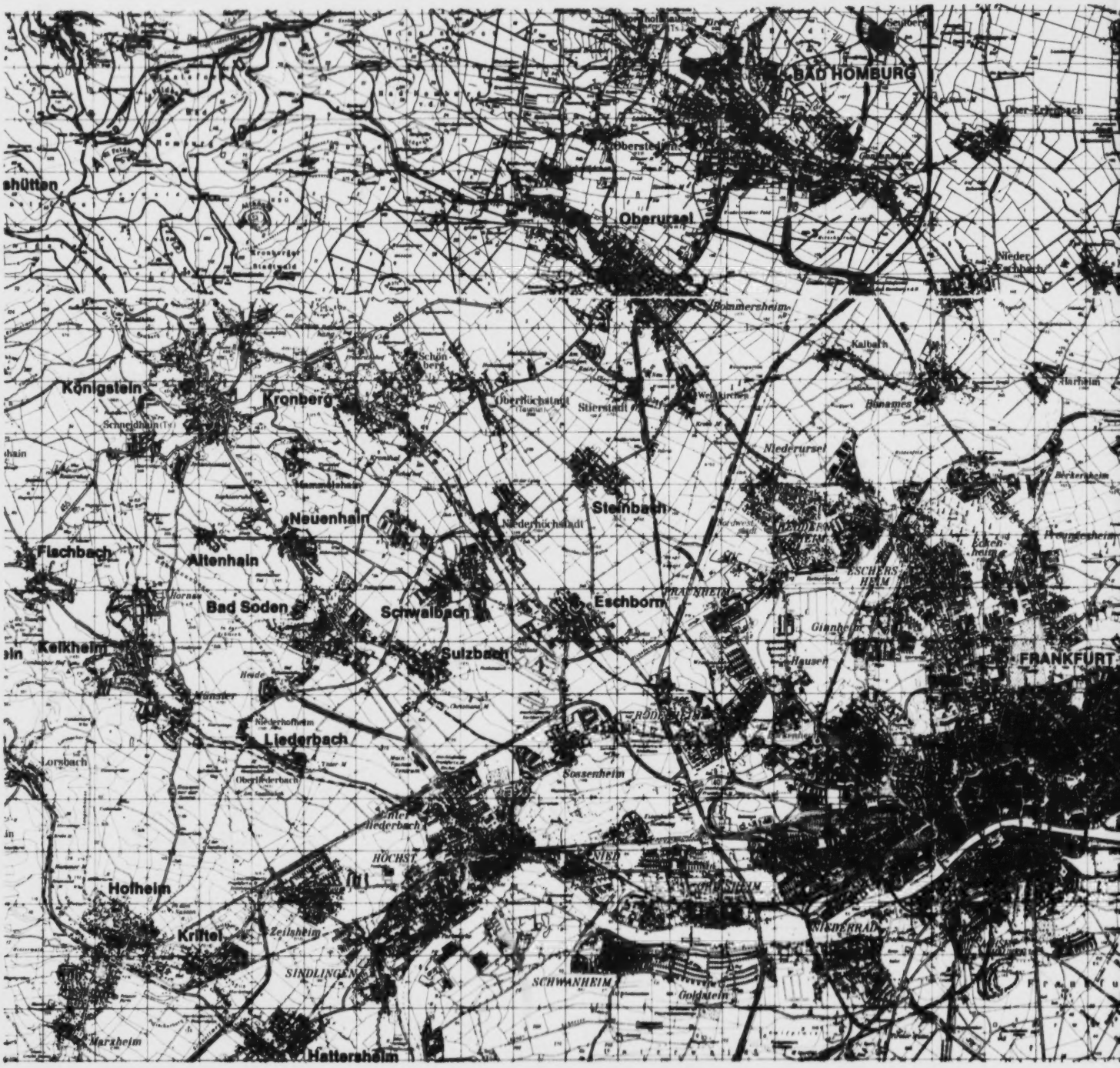
ak vertical exchange in summer (June 26, 1972, 1:25 a. m.,

differences (warm to cold) at the surface.
e German Weather Service contain the colours light blue

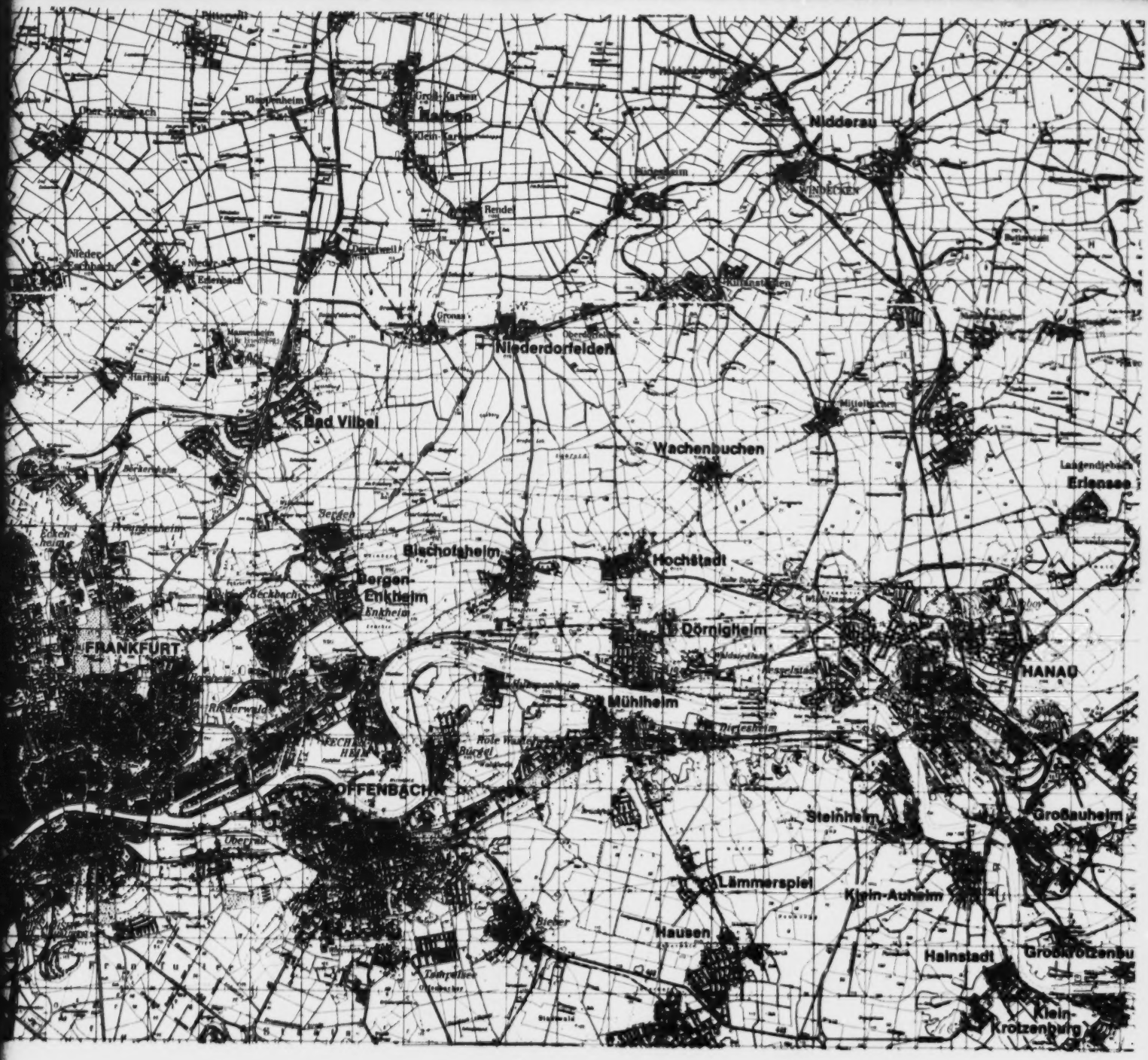
Verdichtungsgebiet der RPU im Thermogramm

Metropolitan area of the RPU in the thermogram

Maßstab , Scale 1 : 100 000



Preceding page blank



Topographie, Maßstab 1 : 100 000

Verkleinerung der Topographischen Karte 1 : 50 000 mit Gauß-Krüger-Netz.

Topography, Scale 1 : 100 000

Diminution of the topographical map 1 : 50 000 with Gauß-Krüger-net.

logischen Untersuchung aufbaut, anfertigen lassen. Die Stadt Frankfurt bereitet eine umfangreiche stadtklimatologische Studie als Grundlage für die weitere Flächennutzungsplanung vor. Für diesen Zweck sind einige meteorologische Stationen aus der lufthygienisch-meteorologischen Untersuchung bereits umgestellt worden. Daraus wird deutlich, daß sich in Zukunft eine Fülle weiterer Fragen aus diesem Bereich ergeben werden, deren gute oder schlechte Beantwortung unmittelbaren Einfluß auf das Wohlbefinden der Menschen in einem Verdichtungsgebiet haben werden.

rological studies. The Frankfurt city prepares an extensive climatological study as basis for the future area plans. Some monitoring stations used in the air quality-meteorological studies have been relocated already for this purpose. This brings to our mind that in future a bundle of questions from this field will arise. The good or bad response to these issues will directly influence the comfort of people in congested areas.

Preceding page blank

J. Krebs

1. Beschreibung des Untersuchungsgebietes

1.1. Bevölkerung und Verwaltung

Die Region Untermain ist nach dem Rhein-Ruhrgebiet der zweitgrößte Verdichtungsraum der Bundesrepublik Deutschland. Sie umfaßt eine Fläche von ca. 4000 qkm, auf der über 2 Millionen Menschen wohnen. Im engeren Verdichtungsgebiet, das mit dem nördlichen Teil der Stadt Darmstadt und dem Kreis Groß-Gerau Gegenstand der Untersuchung ist, leben auf einer Fläche von rund 1430 qkm ungefähr 1,85 Millionen Menschen.

Es gehören zum Untersuchungsgebiet die kreisfreien Städte Frankfurt, Hanau und Offenbach; ferner teilweise die Landkreise Darmstadt, Dieburg, Groß-Gerau, Hanau, Hochtaunus, Main-Taunus, Offenbach und Wetteraukreis (Gebietsstand 1. 8. 72), siehe Karte 1.

Die Einwohnerdichte hat ihre Schwerpunkte in der Frankfurter Innenstadt, obwohl der Trend der letzten Jahre eindeutig eine Abnahme der Wohnbevölkerung im innerstädtischen Bereich zugunsten der umliegenden Städte und Gemeinden aufweist (s. Karte 2).

Um die Voraussetzung für eine geordnete Siedlungsentwicklung zu schaffen, wurde im Jahr 1965 die Regionale Planungsgemeinschaft Untermain in der Rechtsform eines Zweckverbandes gebildet. Ihr gehören alle Landkreise und kreisfreien Städte des Untersuchungsgebietes bis auf den Landkreis Groß-Gerau und Darmstadt Stadt- und Landkreis an; außerdem die Landkreise Gelnhausen und Schlüchtern.

Am 19. September 1972 ist der Regionale Raumordnungsplan, Sachlicher und Räumlicher Teilplan I, von der Hessischen Landesregierung festgestellt worden. Er ist seit seiner Veröffentlichung im Hessischen Staatsanzeiger vom 16. 10. 1972 verbindlicher Rahmenplan für alle Planungsaktivitäten in der Region Untermain. Mit diesem Plan ist durch die Festlegung der Bevölkerungsverteilung, der Siedlungsentwicklung, der Zentralen Orte und der Regionalen Grünzüge die Entwicklung bis zum Jahre 1980 – aber auch für weitere Zukunft – vorgezeichnet.

1.2. Topographie und Klima

Die klimatischen Bedingungen im Untermaingebiet sind durch die Tallage zwischen vier Mittelgebirgen – dem Taunus im Nordwesten, dem Vogelsberg im Nordosten, dem Spessart im Südosten und dem Odenwald im Süden – gekennzeichnet. Der Höhenunterschied innerhalb des Untersuchungsgebietes beträgt maximal rd. 700 m (Kl. Feldberg 825 m, Main 100 m). Das Klima ist durch ein häufiges Auftreten von windschwachen Situationen gekennzeichnet, die zur Bildung von lokalen Luftzirkulationen führen. Diesen lokalen Zirkulationen, ihren Dimensionen und den Voraussetzungen für ihr Entstehen gilt in erster Linie das Interesse der Untersuchung. Da in einem sehr frühen Planungsstadium sichtbar

1. Description of the investigation area

1.1. Population and administration

The Untermain region is the second-largest metropolitan area in the Federal Republic of Germany after the Rhein-Ruhr region. It comprises an area of about 4,000 sq. km where more than 2 millions people live. In the closer metropolitan area which – together with the northern part of the city of Darmstadt and the county Groß-Gerau – is the subject of this survey, approximately 1.85 million people live in an area of about 1,430 sq.km.

The survey area includes: the cities of Frankfurt, Hanau and Offenbach, parts of the counties of Darmstadt, Dieburg, Groß-Gerau, Hanau, Hochtaunus, Offenbach and Wetterau (regional status as per August 1, 1972), see map 1.

The population is most dense in the center of Frankfurt although the trend in recent years shows a clear reduction of the population living in the city center and a movement into the surrounding towns and communites (see map 2).

In order to create the necessary conditions for an orderly development of the settlements the Regional Planning Community Untermain was established in 1965 in the legal form of an administrative union (Zweckverband). It comprises all rural and urban counties in the survey area with the exception of the rural county of Groß-Gerau and the urban and rural counties of Darmstadt, and, additionally, the counties of Gelnhausen and Schlüchtern.

The Regional Area Planning Scheme, Technical and Topographic Partial Plan I, was established by the Government of the Land Hessen on September 19, 1972. Since its publication in the Gazette of the Land of Hessen on October 16, 1972 it has been the binding skeleton plan for all planning activities in the Untermain region. This plan which determines the distribution of the population, the development of settlements, the central locations and the regional green areas traces the pattern for the development until 1980 – but also for the time after 1980.

1.2. Topography and climate

The climatic conditions in the Untermain region are characterized by its location in a valley between four medium mountain ranges – the Taunus in the NW, the Vogelsberg in the NE, the Spessart in the SE and the Odenwald in the S. The maximum difference in altitude within the survey area is about 700 m (Kl. Feldberg 825 m, river Main 100 m). A characteristic feature of the climate is the frequent calm almost windless weather which leads to the formation of local air circulations. These local circulations, their dimensions and causes are the primary subjects of this survey. Since it became apparent at a very early planning stage that on the one hand the establishment of further major pollution emittors, the increase in the num-

wurde, daß durch die Ansiedlung weiterer Großemittenten, die Zunahme der Kraftfahrzeuge und das Anwachsen der Hausbrandemissionen auf der einen Seite und durch die Abriegelung von noch vorhandenen Frischluftkorridoren durch gedankenlose Siedlungstätigkeit auf der anderen Seite mit einer erheblichen Verschlechterung der Luftqualität und damit der Lebensbedingungen gerechnet werden muß, begann die RPU mit der finanziellen Unterstützung des Bundesinnenministeriums und des Hessischen Ministeriums für Landwirtschaft und Umwelt eine fundierte Untersuchung der klimatischen und lufthygienischen Bedingungen.

1.3. Verteilung und Schwerpunktbildung der wirtschaftlichen Aktivitäten (Analyse)

Die Abgrenzung des Untersuchungsgebietes nach demographischen und wirtschaftlichen Kriterien entspricht im wesentlichen den Anforderungen, die mit dem Begriff „Verdichtungsgebiet" (metropolitan area) innerhalb der Raumordnungspolitik der Bundesrepublik verbunden sind. Nach dem Kriterium zur Abgrenzung von Verdichtungsgebieten muß eine Einwohner- und Arbeitsplatzdichte von mindestens 1250 pro km² erreicht werden, ein Wert, der in den wirtschaftlichen Schwerpunkten des Untersuchungsgebietes weit überschritten wird.

Da zwischen den Zentren der wirtschaftlichen Aktivität und der Bevölkerungsverteilung innerhalb des Untersuchungsgebietes starke Diskrepanzen bestehen, wird bei der folgenden Strukturanalyse eine Gliederung in vier Teilgebiete zugrunde gelegt (vgl. Karte 3). Dabei wird sich die Interpretation der Zusammenhänge eng an dem für diese Untersuchung eigens ausgewerteten Datenmaterial orientieren.

Als erster Anhaltspunkt zur Beurteilung der wirtschaftlichen Situation wird das Bruttoinlandsprodukt als die Summe aller Güter und Dienstleistungen herangezogen. Im Untersuchungsgebiet stieg das Bruttoinlandsprodukt von 1961 bis 1970 um 131 %. Im Vergleich der Wertschöpfung pro Kopf mit der BRD tritt deutlich das relativ hohe wirtschaftliche Entwicklungsniveau des Untersuchungsgebietes hervor. Zudem hat sich der Abstand zum bundesdeutschen Durchschnitt in den Jahren 1961–70 noch vergrößert. Damit zählt das Untersuchungsgebiet zu den wirtschaftlich interessantesten Regionen der Bundesrepublik.

Mit dieser Entwicklung war zugleich eine Strukturverschiebung der Wirtschaftsbereiche verbunden. Während 1961 noch das Produzierende Gewerbe den höchsten Anteil hatte, trat 1970 der Dienstleistungssektor an dessen Stelle. Dies ist im wesentlichen auf die Expansion des tertiären Sektors in den Teilgebieten I und II zurückzuführen, während bei den Teilgebieten III und IV das Hauptgewicht der Wertschöpfung noch im Produzierenden Bereich liegt (vgl. Tab. 1).

Die unterschiedliche Entwicklung des Bruttoinlandsprodukts in den einzelnen Teilbereichen sowie die

ber of motor vehicles and growing housefold fuel emissions, and on the other hand the blocking of still existing fresh air corridors by thoughtless settlement projects would doubtlessly lead to a substantial deterioration of the air quality and thus the living conditions, the Regional Planning Community Untermain – with the financial support of the Federal Ministry of the Interior and the Ministry of Agriculture and Environment of the Land Hessen – started a thorough survey of the climatic and air-hygienic conditions.

1.3. Distribution and formation of center of gravity of the economic activities (Analysis)

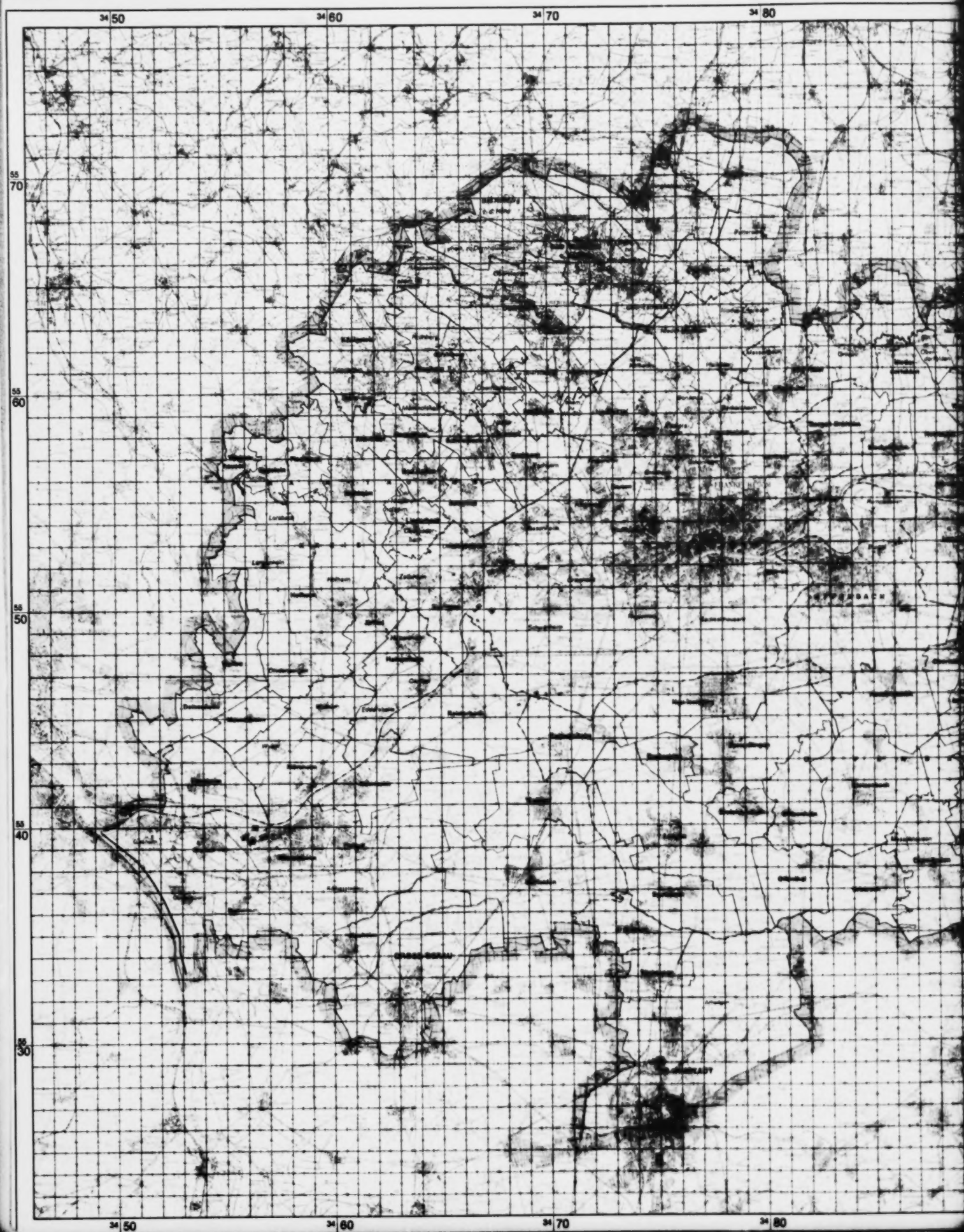
The delimination of the survey area according to demographic and economic criteria meets essentially the requirements connected with the term "metropolitan area" within the area planning policy of the Federal Republic of Germany. The criterion for the delimination of metropolitan areas provides for a per capita density (inhabitants and jobs) of at least 1250 per sq.km, a figure which is widely exceeded in the main economic centers of the survey area.

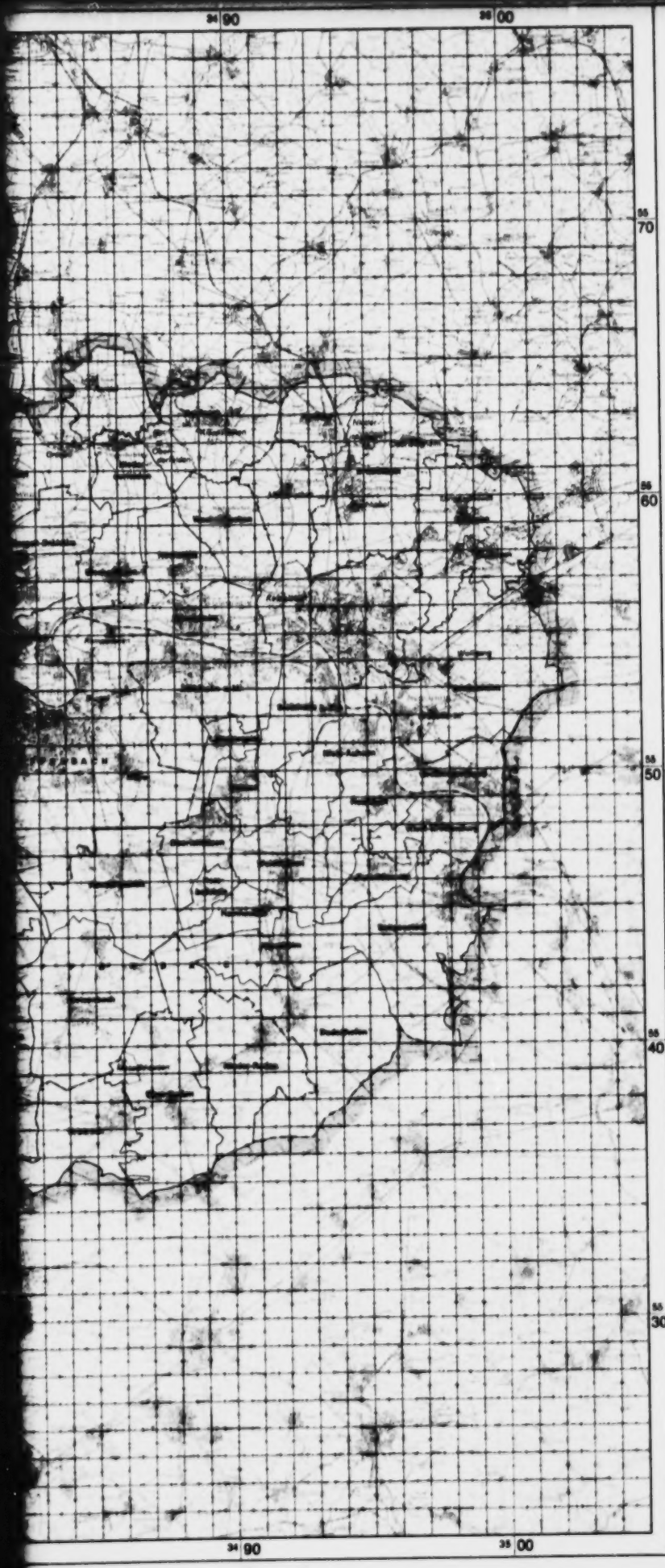
Since there are strong discrepancies between the centers of economic activities and the density of the population within the survey area the following structural analysis has been divided into four regions (see map 3). The interpretation of the connections will be closely based on the data which has been expecially evaluated for this study.

The gross domestic product as the sum of all goods and services has been taken as a first guide to assess the economic situation. The gross domestic product in the survey area increased by 131 % from 1961 to 1970. When comparing the per capita value added to the gross domestic product in the entire Federal Republic of Germany with that in this area the relatively high level of industrial development in the survey area becomes clearly apparent. Moreover, the gap compared with the average level in the Federal Republic has even increased from 1961 to 1970. The survey area is thus one of the most interesting economic regions of the Federal Republic.

Connected with this development was a simultaneous shifting of the structure of economic sectors. While in 1961 the producing trade had the highest share it was replaced by the services sector in 1970. This has to be attributed essentially to the expansion of the third sector in the Regions I and II while in the Regions III and IV the production sector still had the main share in the value added to the gross domestic product (see table 1).

The varying development of the gross domestic product in the various regions and the specific interests


34 50
34 60
34 70
34 80
55 70
55 60
55 50
55 40
55 30



Karte 1
Map 1

Gebiet der Modelluntersuchung
(Gauß-Krüger-Meßnetz)
Area of the model investigation
(Gauß-Krüger measuring net)

Grenze des Untersuchungsgebietes
Border of the investigation area

Landesgrenze
State border

Kreisgrenze
District border

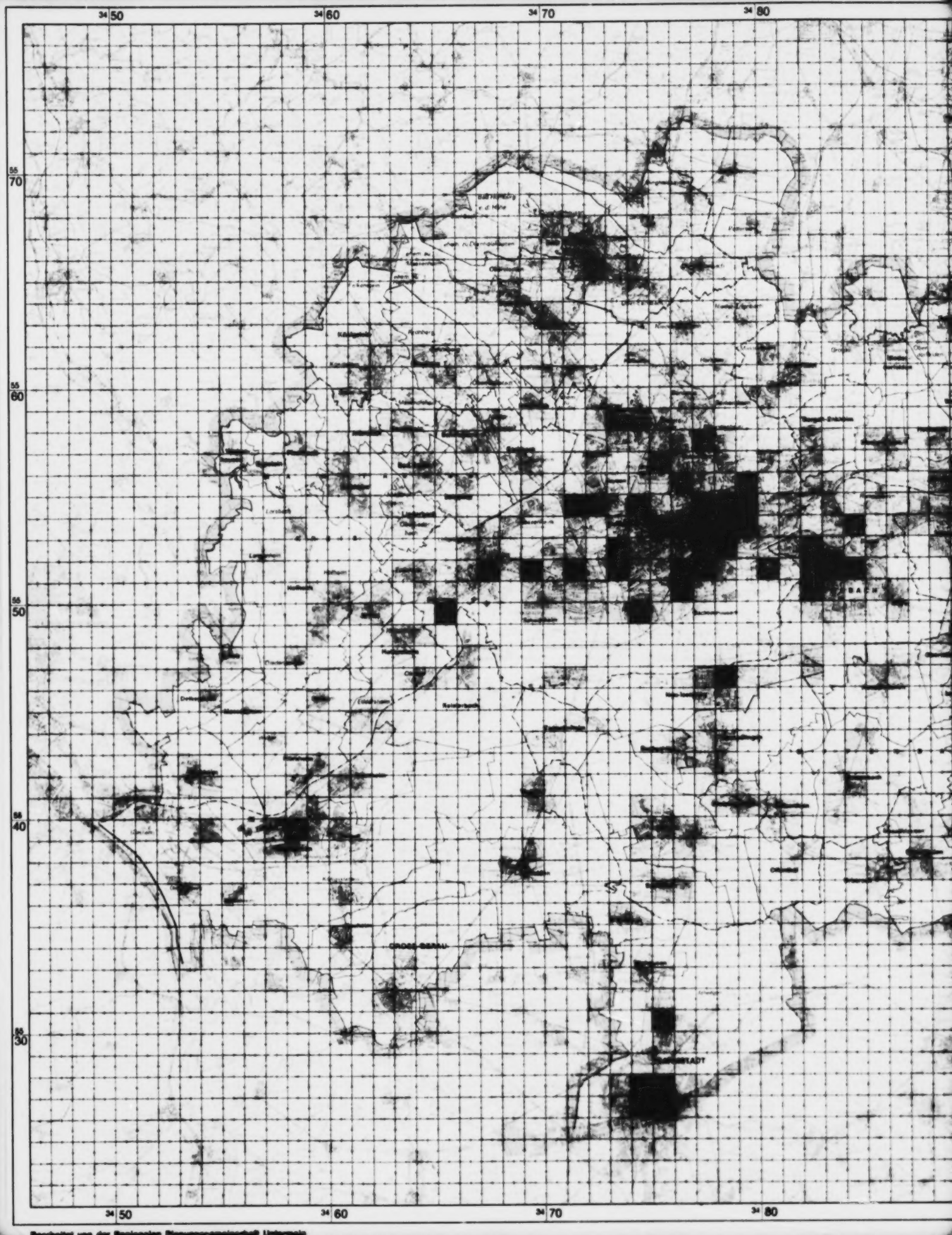
Gemeindegrenze
Community border

Ortsteilgrenze
Quarter border

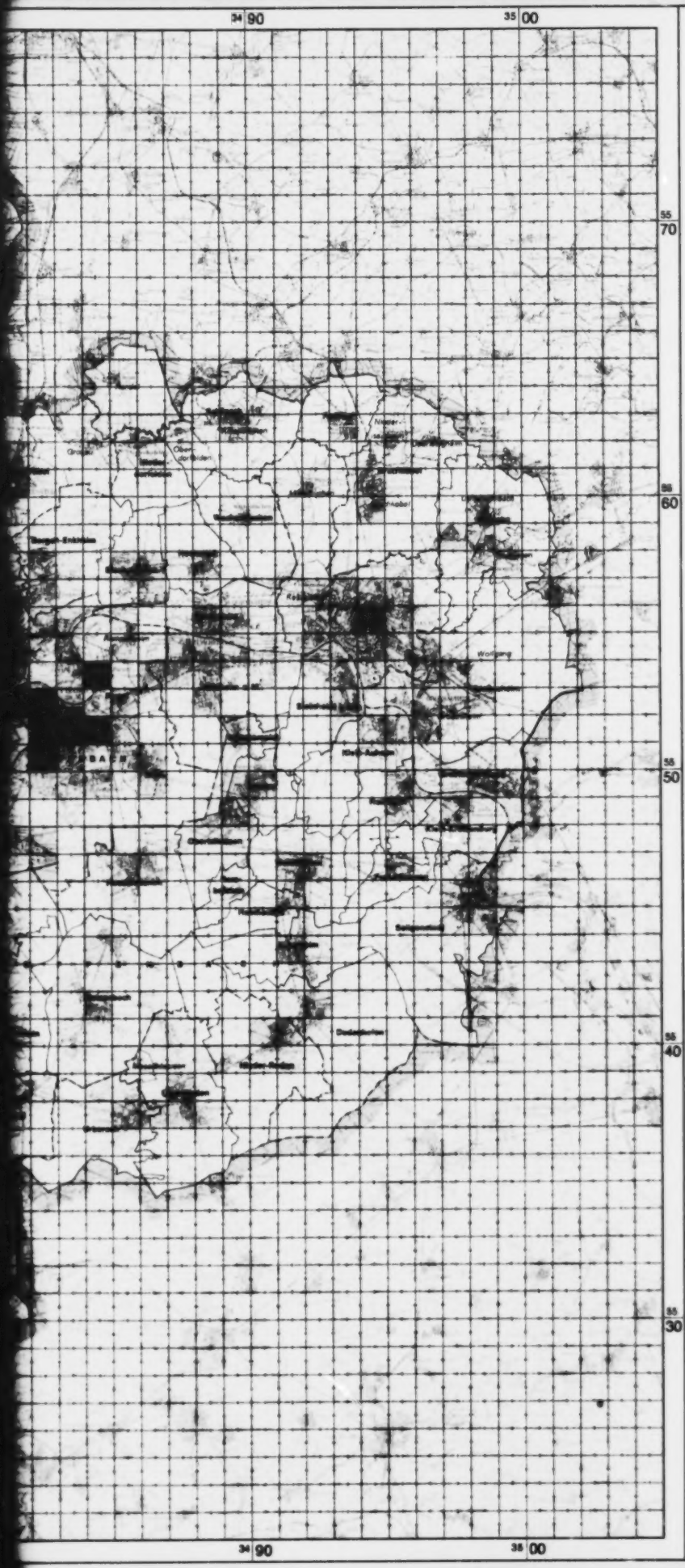
4 km²
1

Maßstab, Scale 1 : 200 000

0 2 4 6 8 10 12 km



Bearbeitet von der Regionalen Planungsgemeinschaft Untermain



Karte 2
Map 2

Einwohnerdichte km²
(VZ 1970, Werte der Gemeinden bzw. Stadtbezirke auf Planquadrate verteilt)
Population density km²
(VZ 1970, values of communities respectively city sectors distributed onto plan squares)

Einwohner pro km²

- 0–199
- 200–1999
- 2000–7999
- 8000–14 999
- über 15 000

Grenze des Untersuchungsgebietes
Border of the investigation area

Landesgrenze
State border

Kreisgrenze
District border

Gemeindegrenze
Community border

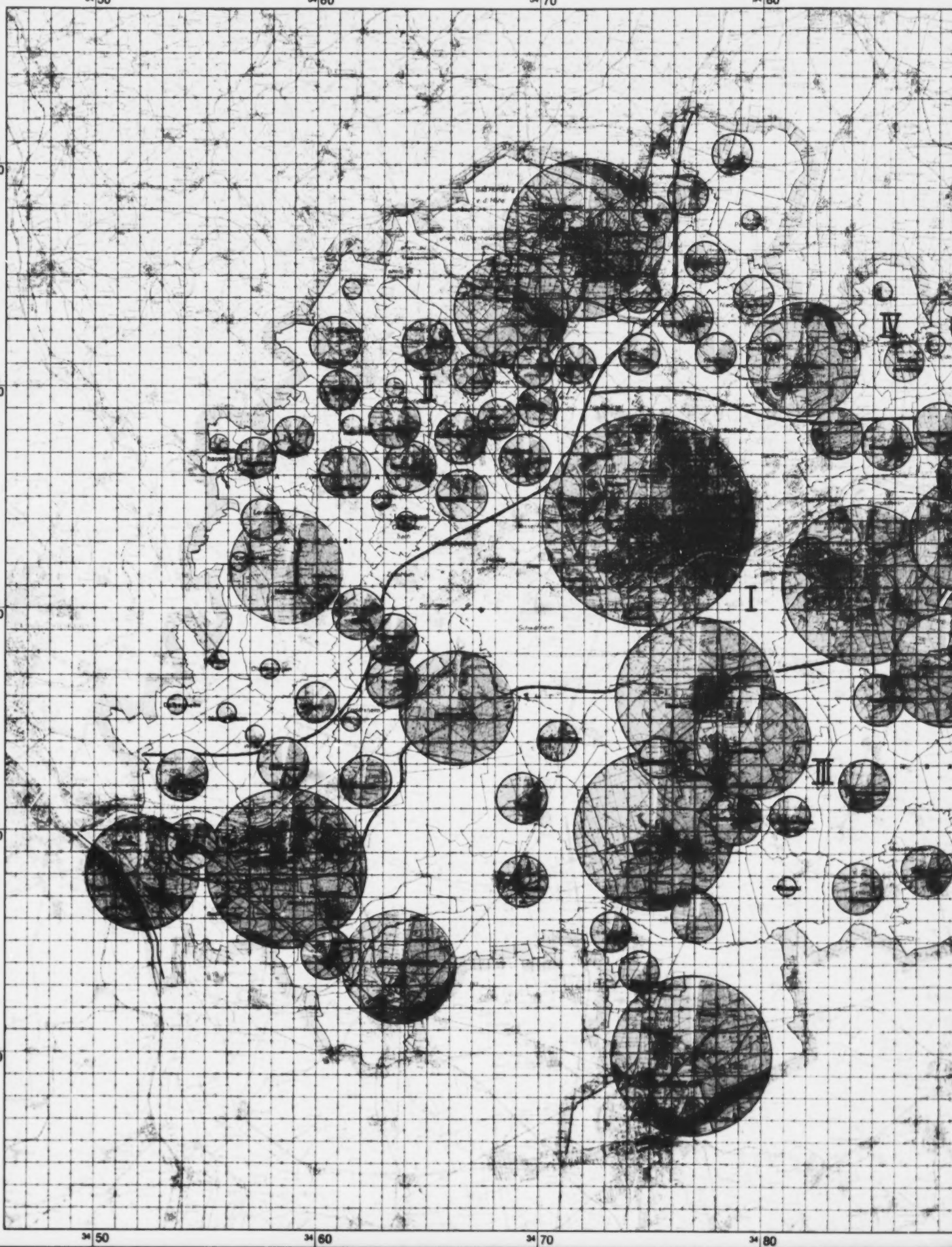
Ortsteilgrenze
Quarter border

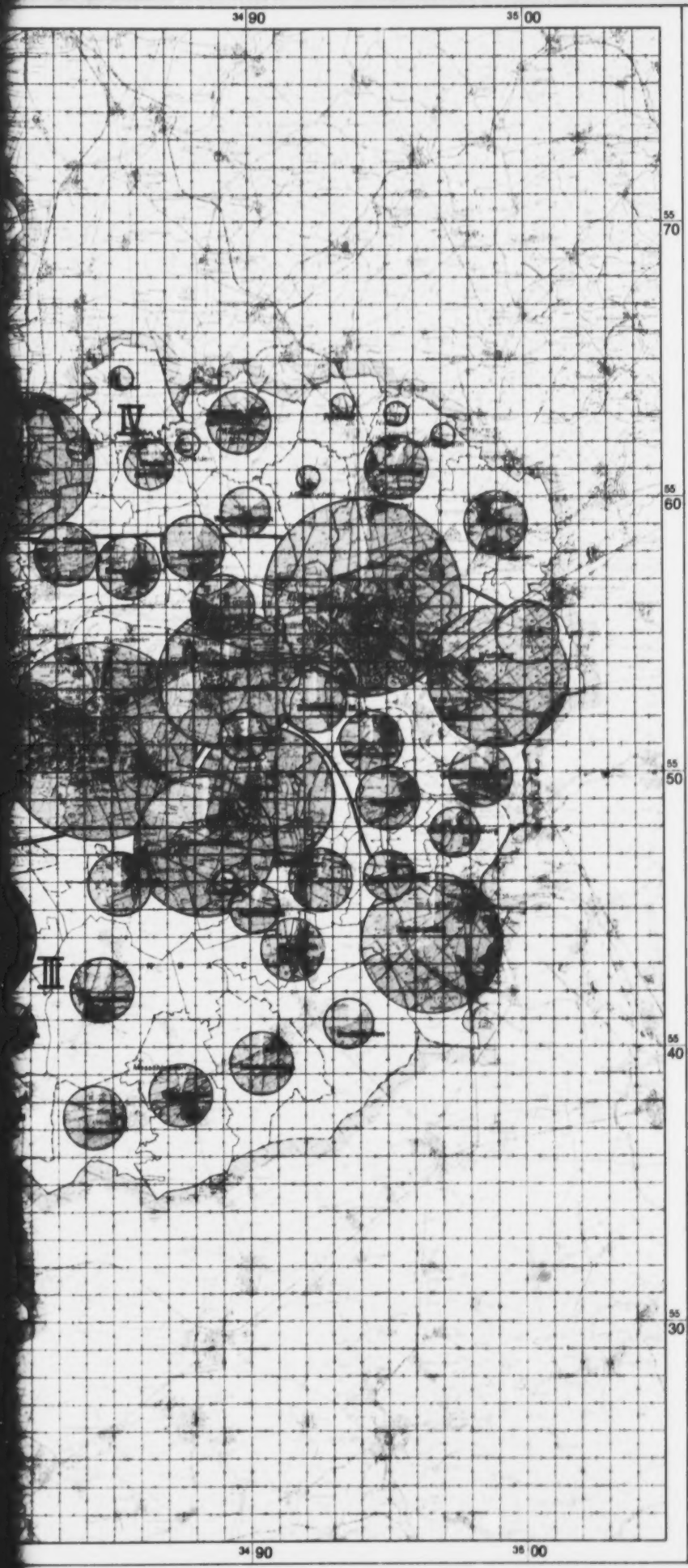
4 km²
1

Maßstab, Scale 1 : 200 000

0 2 4 6 8 10 12 km

Preceding page blank


34 50
34 60
34 70
34 80
55 70
55 60
55 50
55 40
55 30
I
II
III
IV



Karte 3
Map 3

Beschäftigte nach Wirtschaftssektoren 1970
Employees by economy sectors 1970

Land- und Forstwirtschaft – primär
Agriculture and forestry – primary

Produzierendes Gewerbe – sekundär
Producing trade – secondary

Dienstleistungen – tertiär
Services – tertiary

Ffm. 539401

>10000

5001–10000

1001–5000

501–1000

0–500

10 mm Kreisfläche = 500 Beschäftigte
10 mm area of the circle = 500 employees

I Teilgebiete
Sub-areas

Grenze des Untersuchungsgebietes
Border of the investigation area

Landesgrenze
State border

Kreisgrenze
District border

Gemeindegrenze
Community border

Ortsteilgrenze
Quarter border

4 km²
1

Maßstab, Scale 1 : 200 000

0 2 4 6 8 10 12 km

Preceding page blank

Entwicklung des Bruttoinlandsproduktes nach Wirtschaftsbereichen in Mill. DM **Tab. 1:**

Development of the Gross National Product by Economy Sectors in Mill. DM **Table 1:**

Teilgebiet Sub-area		Land- und Forstwirtsch. Agriculture and Forestry	in %	Prod. Gewerbe Producing trade	in %	Dienst-leistungen Services	in %	Gesamt BIP Total GNP	in %	BIP/Einw. in Tsd. DM GNP/inhabit. in 1000 DM
I	61	47,2	0,5	4577,5	47,2	5062,8	52,3	9687,5	100	
	70	54,1	0,2	9343,5	42,4	12626,1	57,4	22023,7	100	23,4
II	61	28,0	3,4	459,7	55,5	341,3	41,1	829,0	100	
	70	36,2	1,5	1172,2	49,2	1173,2	49,3	2381,6	100	8,9
III	61	38,0	1,2	1995,6	64,7	1049,9	34,1	3083,5	100	
	70	52,5	0,8	4030,1	58,4	2813,5	40,8	6896,1	100	12,7
IV	61	15,8	5,5	190,2	66,3	81,0	28,2	287,0	100	
	70	21,2	2,7	492,2	61,7	284,2	35,6	797,6	100	7,2
Gesamt	61	129,0	0,9	7223,0	52,0	6535,0	47,1	13887,0	100	
Total	70	164,0	0,5	15038,0	46,8	16897,0	52,7	32099,0	100	

spezifischen Interessen der lufthygienisch-meteorologischen Untersuchung verlangen im folgenden eine getrennte Analyse des primären, sekundären und tertiären Sektors.

of the air-hygienic-meteorological survey require a separate analysis of the first, second and third sector.

1.3.1. Primärer Sektor

Die geringe Bedeutung der Land- und Forstwirtschaft für die Wirtschaft des Untersuchungsgebietes läßt sich an ihrem Beitrag von 0,5% 1970 zum Bruttoinlandsprodukt erkennen. Ein ähnliches Bild ergibt die Analyse der Beschäftigtenentwicklung in diesem Bereich. Während im Jahre 1961 noch 18 580 landwirtschaftliche Beschäftigte im Untersuchungsgebiet vorhanden waren, sind es 1970 nur noch 10 120, was einer Abnahme von 45% entspricht. Damit reduziert sich der Anteil der Land- und Forstwirtschaft an den Gesamtbeschäftigten 1970 auf 1%. Die Gründe für diese in der gesamten Bundesrepublik feststellbare Entwicklung liegen in der starken Industrialisierung, die im Mittelpunkt des Wiederaufbaus nach dem Kriege stand, sowie besonders in den letzten Jahren in einer im Rahmen der europäischen Agrarpolitik zunehmenden Spezialisierung und damit Konzentration der deutschen Landwirtschaft auf wenige Gebiete. Die Funktion der Landwirtschaft im betrachteten Verdichtungsgebiet beschränkt sich auf den Anbau von Intensivkulturen zur Frischbelieferung mit Obst und Gemüse an die nahegelegenen großstädtischen Räume und die Vermarktung innerhalb des Genossenschaftswesens. Ihr Beitrag zur Existenzgrundlage der Bevölkerung kann im Zusammenhang mit der gesamtwirtschaftlichen Betrachtung vernachlässigt werden.

1.3.1. Primary sector

The minor importance of agriculture and forestry for the economy of the survey area is reflected by its share of only 0.5% in the 1970 gross domestic product. The analysis of the development of employment in this region shows a similar picture. While 18,580 people were still working in the agricultural sector in the survey area in 1961 their number had fallen to 10,120 in 1970 which represents a reduction of 45%. The share of agriculture and forestry in the total number of working people was thus reduced to 1% in 1970. The reasons for this development, which can be observed in the entire Federal Republic of Germany, have been the vigorous industrialization as the core of reconstruction after the war, and, in particular in recent years, the growing specialization and thus concentration of the German agricultural sector in few fields within the framework of the European agricultural policy. The activity of the agricultural sector in the metropolitan survey area is limited to intensive cultivations to supply the cities in the vicinity with fresh fruit and vegetables and to market products within the cooperatives. The contribution of the agricultural sector to the subsistence of the population can therefore be neglected in connection with overall economic considerations.

1.3.2. Sekundärer Sektor

Die Entwicklung des sekundären Sektors im Untersuchungsgebiet zeigt, in den letzten Jahren gemessen an den Beschäftigten, eine Zunahme um 3% auf insgesamt 502 520 Beschäftigte 1970 und erreicht damit einen Anteil an den Gesamtbeschäftigten von

1.3.2. Secondary sector

As regards the development of the secondary sector in the survey area in recent years, the number of working people increased by 3% and amounted in total to 502,520 in 1970, thus reaching a share of 48% of the total number of people employed. A comparison of the

Preceding page blank

48%. Ein Vergleich der Entwicklung des Bruttoinlandsprodukts in diesem Sektor zeigt einen ähnlichen Verlauf.

development of the gross domestic product in this sector shows a similar course.

Das Schwergewicht der Beschäftigten in den verschiedenen Bereichen des sekundären Sektors liegt bei der Industrie. Die Bereiche Energie- und Bauwirtschaft mit ca. 20% der Beschäftigten in diesem Sektor fallen durch die relativ breit gestreute regionale Verteilung im Untersuchungsgebiet nicht besonders ins Gewicht.

Most of working people in the various areas of the second sector are employed in industry. The energy branch and the building industry, employing about 20% of the working people in this sector, are not of great importance because they are widely dispersed over the survey area.

Ganz anders verhält es sich mit den Standorten der Großindustrie. Diese ist – historisch gesehen – zunächst entlang der Wasserstraße Main im Hinblick auf die Standortfaktoren Transportmittel und Wasserbedarf gewachsen. Ca. 65% der Industrie-Beschäftigten des Untersuchungsgebietes liegen innerhalb des Entwicklungsbandes am Main (Teilgebiet I), vornehmlich konzentriert auf den Bereich der Grundstoff- bzw. Produktionsgüterindustrie wie z. B. der Chemie, dem Fahrzeugbau, der Eisen- und Stahlindustrie, der Industrie der Steine und Erden sowie der Mineralölverarbeitung.

The contrary is true for the locations of the big industries. These industries – seen historically – have grown first along the river Main in view of the factors of transport and water supply. About 65% of the people working in the industry of the survey area live along the Main (Region I), concentrated primarily in the sectors of the basic products and capital goods industry such as the chemical industry, vehicle construction, iron and steel industry, stone and clay industry, and mineral oil processing industry.

Mit der Entwicklung der drei bedeutendsten Städte im Untersuchungsgebiet: Frankfurt, Offenbach und Hanau verbreiterte sich zugleich die industrielle Basis um weitere Bereiche, die heute zum Teil die Grundstoffindustrie an Bedeutung übertreffen (vgl. Tab. 2). Ausgehend von der Kernzone der standortgebundenen Grundstoffindustrie entwickelten sich in den letzten Jahrzehnten weitere industrielle Bereiche in zunehmender Unabhängigkeit vom Standortfaktor Main. Die wichtigsten Träger dieser Verbreiterung der industriellen Basis sind der Maschinenbau und die elektrotechnische Industrie. Sie bilden das Hauptgewicht der regionalen Industriestruktur in den übrigen Teilgebieten und kennzeichnen das Untersuchungsgebiet insgesamt. Zu diesen Branchen tritt die jeweils eigenständige historische industrielle Tradition in den Teilgebieten.

In line with the development of the three most important cities in the survey area – Frankfurt, Offenbach and Hanau – the industrial basis has been extended by further sectors, some of which are exceeding today the basic products industry in importance (see table 2). Expanding from the central zone of the static basic products industry further industrial sectors developed during the last decades in growing independence from the river Main. The most important sectors in this expansion of the industrial basis are the machine-building and the electro-technical industries. They are the main pillars of the industrial structure in the other regions and characterize the whole survey area. In addition to these sectors there are the historical traditional industries which are typical for each region.

Während im Teilgebiet II die historische Orientierung bei der Produktion in der Glas-, Ernährungs- oder Möbelindustrie in den Hintergrund getreten ist, überwiegen heute durch hervorragende infrastrukturelle Qualitäten vor allem Industrieverwaltungen.

While in Region II the historical production of the glass, food and furniture industry has receded into the background, industrial administrations predominate today due to the excellent infrastructural qualities of the region.

Im Teilgebiet III liegt dagegen das Schwergewicht der industriellen Produktion, welche sich neben der mit zunehmenden Strukturproblemen belasteten alteingesessenen Lederindustrie zunehmend auf den Maschinenbau, die Chemie und die EBM-Warenindustrie konzentriert. Außerdem gewinnt die Distributionsfunktion zunehmend an Bedeutung, da die in der Bundesrepublik verteilten Zweigwerke die Transportkostenvorteile aus der geographischen Mittellage des Frankfurter Raumes für ihr Zentrallager ausnutzen.

Industrial production, however, is concentrated in Region III, with main emphasis on the long-established leather industry which is struggling with growing structural problems, and, increasingly, on the chemical industry and the iron, sheet and metal goods industry. Moreover, the distribution function is gaining increasing importance since the branch factories dispersed over the whole territory of the Federal Republic establish their central depots in the Frankfurt area, thus availing themselves of the transport cost advantages offered by the favourable central geographical location of this area.

Das Teilgebiet IV ist für den industriellen Bereich von untergeordneter Bedeutung. Die vorhandenen Industriestandorte konzentrieren sich im wesentlichen auf den Westen des Gebietes.

Region IV is of secondary importance for the industrial sector. Existing industries are concentrated essentially in the western part of this region.

Tab. 2: Struktur der Industriebeschäftigten 1970

Industriezweige	Anteil %
Teilgebiet I:	
Elektrotechnische Industrie	26
Chemie	20
Fahrzeugbau	15
Maschinenbau	13
Druckerei- und Vervielfältigungsindustrie	5
Ernährungs-, Genußmittel-Industrie	4
Gummi und Asbest verarbeitende Industrie	2
Lederindustrie	2
Feinmechanische und optische Industrie	2
NE-Metallindustrie	1
Rest	10
Gesamtindustrie	100
Anteil am Untersuchungsgebiet abs. 327 000 Beschäftigte	65
Teilgebiet II:	
Maschinenbau	31
Elektrotechnische Industrie	20
Ernährungs-, Genußmittel-Industrie	10
Chemie	7
Papier und Pappe verarbeitende Industrie	5
Glasindustrie	4
Druckerei- und Vervielfältigungsindustrie	4
Gummi und Asbest verarbeitende Industrie	3
Kunststoffverarbeitende Industrie	2
Eisen-, Blech- und Metallwarenindustrie	2
Rest	12
Gesamtindustrie	100
Anteil am Untersuchungsgebiet abs. 44 000 Beschäftigte	9
Teilgebiet III:	
Maschinenbau	25
Chemie	20
Leder	14
Eisen-, Blech- und Metallwarenindustrie	12
Elektrotechnische Industrie	8
Druckerei- und Vervielfältigungsindustrie	5
Bekleidungsindustrie	3
Ernährungs-, Genußmittel-Industrie	2
Gummi und Asbest verarbeitende Industrie	2
Industrie der Steine und Erden	1
Rest	8
Gesamtindustrie	100
Anteil am Untersuchungsgebiet abs. 123 000 Beschäftigte	25
Teilgebiet IV:	
Elektrotechnische Industrie	38
Kunststoffverarbeitende Industrie	16
Chemie	10
Maschinenbau	8
Gießerei-Industrie	4
Lederindustrie	4
Eisen-, Blech- und Metallwarenindustrie	4
Textilindustrie	3
Holzbearbeitende Industrie	3
Industrie der Steine und Erden	2
Rest	8
Gesamtindustrie	100
Anteil am Untersuchungsgebiet abs. 8 000 Beschäftigte	1

Table 2: Structure of the industry-employees 1970

Industrial branches	Share %
Sub area I:	
Electrotechnical industry	26
Chemistry	20
Vehicle engineering	15
Mechanical engineering	13
Printing- and reproduction industry	5
Provisions and fine foods	4
Rubber- and asbestos producing industry	2
Leather industry	2
Fine mechanical and optical industry	2
Non-iron-metal industry	1
Rest	10
Total industry	100
Share at investigation area abs. 327.000 employees	65
Sub area II:	
Mechanical engineering	31
Electrotechnical industry	20
Provisions and fine foods	10
Chemistry	7
Paper and cardboard producing industry	5
Glass industry	4
Printing- and reproducing industry	4
Rubber- and asbestos producing industry	3
Plastics producing industry	2
Iron-, thin plate-, hardware-industry	2
Rest	12
Total industry	100
Share at investigation area abs. 44.000 employees	9
Sub area III:	
Mechanical engineering	25
Chemistry	20
Leather industry	14
Iron-, thin plate-, hardware-industry	12
Electrotechnical industry	8
Printing- and reproduction industry	5
Clothing industry	3
Provisions and fine foods	2
Rubber- and asbestos producing industry	2
Quarrying and earthworking	1
Rest	8
Total industry	100
Share at investigation area abs. 123.000 employees	25
Sub area IV:	
Electrotechnical industry	38
Plastics producing industry	16
Chemistry	10
Mechanical engineering	8
Foundry industry	4
Leather industry	4
Iron-, thin plate-, hardware-industry	4
Textile industry	3
Wood working industry	3
Quarrying and earthworking	2
Rest	8
Total industry	100
Share at investigation area abs. 8.000 employees	1

1.3.3. Tertiärer Sektor

Der tertiäre Sektor erweist sich sowohl gemessen am Bruttoinlandsprodukt als auch an den Beschäftigten als der einflußreichste Bereich. In den Jahren 1961 bis 1970 wächst er um 25% auf 539786 Beschäftigte im Untersuchungsgebiet und erreicht 51% an den Gesamtbeschäftigten. Diese Entwicklung ist auf mehrere interdependente Faktoren zurückzuführen. Zunächst bildet die Stadt Frankfurt, welche 1970 allein ca. 65% aller tertiären Beschäftigten auf sich vereinigt, aufgrund der historischen Orientierung als Handels- und Bankenzentrum eine solide Grundlage für die weitere Expansion in diesen Bereichen. Sodann wirkt sich die günstige geographische Lage des Frankfurter Raums innerhalb der Bundesrepublik und den Wirtschaftsblöcken EWG und COMECON auf den kommunikationsintensiven Tertiärbereich besonders aus.

Tab. 3: Struktur der Dienstleistungsbeschäftigten 1970

Dienstleistungsbereiche	Anteil %
Teilgebiet I:	
Privat	25
Handel	24
Verkehr	19
Staat	18
Kredit	14
Insgesamt	100
Anteil am Untersuchungsgebiet abs. 402 000 Beschäftigte	74,6
Teilgebiet II:	
Handel	39
Privat	27
Staat	24
Kredit	6
Verkehr	4
Insgesamt	100
Anteil am Untersuchungsgebiet abs. 38 000 Beschäftigte	7,1
Teilgebiet III:	
Handel	37
Staat	29
Privat	22
Verkehr	8
Kredit	4
Insgesamt	100
Anteil am Untersuchungsgebiet abs. 87 000 Beschäftigte	16,1
Teilgebiet IV:	
Handel	35
Staat	28
Privat	26
Kredit	8
Verkehr	3
Insgesamt	100
Anteil am Untersuchungsgebiet abs. 12 000 Beschäftigte	2,2

1.3.3. Tertiary Sector

The tertiary sector is the most influential sector both in terms of gross domestic product and the number of working people. From 1961 to 1970 the number of people working in the survey area increased by 25% to 539,786 and reached a share of 51% of the total number of working people. This development is due to several interdepending factors. In the first place, the city of Frankfurt where about 65% of all the people working in this sector were concentrated in 1970, provides a solid basis for further expansion in these branches because of its historical role as a trade and banking centre. Furthermore, the favourable geographical location of the Frankfurt area within the Federal Republic and the economic blocs EEC und COMECON has a particularly positive impact on the communication-intensive tertiary sector.

Table 3: Tertiary Sector: Structure of Employment 1970

Service Sectors	Share %
Sub area I:	
Private	25
Trade	24
Traffic/Communication	19
Public	18
Finance/Assurance	14
Total	100
Sub area abs. 402.000 employees	74,6
Sub area II:	
Trade	39
Private	27
Public	24
Finance/Assurance	6
Traffic/Communication	4
Total	100
Sub area abs. 38.000 employees	7,1
Sub area III:	
Trade	37
Public	29
Private	22
Traffic/Communication	8
Finance/Assurance	4
Total	100
Sub area abs. 87.000 employees	16,1
Sub area IV:	
Trade	35
Public	28
Private	26
Finance/Assurance	8
Traffic/Communication	3
Total	100
Sub area abs. 12.000 employees	2,2

Hierzu trägt außerdem die hohe Qualität der Infrastruktureinrichtungen im Untersuchungsgebiet bei. Zusätzlich multiplikative Effekte für die überdurchschnittliche Konzentration des tertiären Sektors gehen von dem steigenen Anteil der Industrieverwaltungen mit ihren internationalen Verflechtungen aus. Sie bilden den wichtigsten Anreiz für die zu erwartende weitere Entwicklung. Die Regionalisierung des Untersuchungsgebietes in die vier Teilgebiete weist auf die zentrale Bedeutung des Verdichtungskerns im Städteband Frankfurt–Offenbach–Hanau hin (vgl. Tab. 3). Alle fünf tertiären Bereiche, insbesondere auch Kreditwesen und Verkehr, sind im Teilgebiet I relativ hoch konzentriert, während in den übrigen Teilgebieten die Bereiche Handel, Staat und Private Dienstleistungen dominieren.

Another contributing factor is the high quality of the infrastructure facilities in the survey area. Additional multiplying effects for the above-average concentration in the tertiary sector are due to the growing number of industrial administrations with their international connections. They provide the most important impetus for the expected further development. The division of the survey area into four regions emphasizes the central importance of the center of concentration in the line of the cities Frankfurt - Offenbach - Hanau (see table 3). All five branches of the tertiary sector, especially also the credit and transport branches are relatively highly concentrated in Region I while in the other regions trade, governmental and private services predominate.

2. Emittenten und Emissionen

2.1. Einführung

Eine der wichtigsten Voraussetzungen zur Erfassung der gasförmigen Emissionen in einem bestimmten Gebiet ist die katastermäßige Erhebung aller vorhandenen Emittenten und deren Emissionskomponenten.

Für das Rhein-Main-Verdichtungsgebiet (s. Karte 1) wurde ein Emissionskataster für die Komponenten Feststoffe, Schwefeldioxid und Kohlenmonoxid für den Zeitraum 1970–71 hergestellt. Dies geschah unter Mitwirkung des Technischen Überwachungsamtes in Kassel, des Schornsteinfegerinnungsverbandes in Wiesbaden, der Städte Frankfurt, Hanau und Offenbach sowie der Hessischen Zentrale für Datenverarbeitung und des Battelle-Instituts.

Es wurde zwischen Industrie-, Hausbrand- und Verkehrsemissionen unterschieden, wobei die Emissionen aus Feuerungsanlagen mit einem Heizwert über 800 000 kcal/h punktweise erfaßt wurden. Alle übrigen Emittenten wurden flächenweise erfaßt. Eine derartige Unterscheidung war notwendig, um das Fortak'sche Diffusionsmodell anwenden zu können. In einem Sonderabschnitt dieses Berichtes wird über die durch die Anwendung des Modells erhaltenen Ergebnisse für den Schadstoff SO_2 berichtet. Die geographische Lage der Punkt- und Flächenquellen wurde mit Hilfe des Gauß-Krüger-Netzes festgelegt. Die Emissionen der Industrie wurden auf stündlicher Basis ermittelt und in jährliche sowie in Sommer- und Winter-Mittelwerte umgerechnet. Die Emissionen des Hausbrandes wurden auf der Basis des maximalen stündlichen Wärmebedarfs ermittelt und über die Gradtagezahl während der Heizungsperiode 1970–71 berechnet. Für den Verkehr wurde ein mittlerer Tagesgang an Wochentagen ohne Wochenendverkehr ermittelt und in stündliche und jährliche Mittelwerte pro 500 x 500 Meter Fläche umgerechnet. Die Ergebnisse der oben erwähnten Berechnungen sind teilweise geschätzte Mittelwerte. Die möglichen Abweichungen von den tatsächlichen Emissionen der einzelnen Schadstoffe in den drei Bereichen dürfen deshalb nicht außer acht gelassen werden. Trotz alledem kann ein derartiges Vorgehen unter den vorhandenen Bedingungen als ein optimaler Versuch angesehen werden, die katastermäßige Erfassung von Schadstoffemissionen zu erlangen.

2.2. Aufstellungsmethode

Die Arbeiten zur Erstellung des Emissionskatasters begannen im Jahre 1970 und wurden in drei Bereiche aufgegliedert: 1. Industrie, 2. Hausbrand, 3. Verkehr. Die Erhebungen wurden erst Mitte 1973 abgeschlossen. Ein derartig langer Zeitraum war notwendig, um eine sinnvolle und vollständige Bearbeitung der Inputdaten zu ermöglichen. Die Ermittlung der Emissionen geschah unter Anwendung von Faktoren, die aus der Praxis der beteiligten Institutionen bzw. aus der Literatur entnommen wurden. An der Erstellung des Emissionskatasters waren folgende Institutionen beteiligt (s. Tabelle 1).

2. Emittents and emissions

2.1. Introduction

One of the most important conditions for the registration of gas pollution emissions in a certain area is the survey and recording in an emission register of all existing emittors and the components of their emissions.

For the metropolitan Rhein-Main area (see map 1) an emission register covering the components solid fuel, sulfur dioxide and carbon monoxide was prepared for the period 1970/71. This work was carried out in cooperation with the Technical Control Office (TÜA) in Kassel, the corporation of chimney-sweeps in Wiesbaden, the cities of Frankfurt, Hanau and Offenbach as well as the Data Processing Centre of Hessen and the Batelle-Institute.

Distinctions were made between industrial, domestic fuel and traffic emissions while the emissions from heating facilities with more than 800,000 kcal/h were registered in terms of points. All other emittors were registered in term of areas. Such a distinction was necessary in order to be able to apply Fortak's diffusion model. A special section of this report contains information on the results obtained regarding the pollutant SO_2 by applying the above model. The geographic locations for the point and area sources were established with the aid of the Gauß-Krüger network. Industrial emissions were determined on an hourly basis and computed into annual as well as average summer and winter data. Domestic fuel emissions were determined on the basis of the maximum hourly heat requirement and computed for the even days during the heating period of 1970–71. As regards traffic, the average daily emissions on weekdays without the weekend traffic were determined and computed into average hourly and annual data per 500 x 500 m area. Some of the results of the computations mentioned above are estimated average data. There is therefore a possibility of deviations from the real emissions of various pollutants in the three sectors. Nevertheless, under the prevailing conditions such a procedure can be considered as an optimum attempt to achieve the recording of pollutant emissions in the form of an emission register.

2.2. Method of arrangement

The preparations for the establishment of an emission register started in 1970 and were divided into three sectors: 1) industry, 2) domestic fuel, 3) traffic. The survey was not completed before mid-1973. Such a long period was necessary for the useful and full processing of the input data. Emissions were determined by using factors from the practice of the institutions concerned and from publications. The following institutions have participated in the establishment of the emission register (see table 1).

Tab. 1: Erstellung des Emissionskatasters Table 1: Establishment of the Emission Register	Beteiligte Institutionen Participating Institutions
Industrie Industry	
Fragebogenentwurf Drafting of questionnaire	TÜA$_1$), MUP$_2$), HSM$_3$), IMG$_4$), ITM$_5$), LIB$_6$), HZD$_7$), NAPCA$_8$), RPU$_9$), LIVSF$_{12}$)
Fragebogenverteilung Distribution of questionnaire	HSM$_3$), SGAA$_{10}$)
Fragebogenauswertung Evaluation of questionnaire	TÜA$_1$), RPU$_9$), HZD$_7$), ITM$_5$)
Staubemissionsfaktoren Dust emission factors	TÜA$_1$), HLfU$_{11}$)
Staubemissionsberechnung Dust emission calculation	RPU$_9$), ITM$_5$)
Hausbrand Domestic fuel	
Wärmebedarf Heat requirement	LIVSF$_{12}$), HZD$_7$), ITM$_5$)
Brennstoffbedarf und Schadstoffemissionen 1970–71 Fuel requirement and pollutant emissions 1970–71	LIVSF$_{12}$), HZD$_7$), RPU$_9$)
Verkehr Traffic	
Verkehrsaufkommen Volume of traffic	VPAF$_{13}$), VPAH$_{14}$), BI$_{15}$)
Verkehrsemissionsfaktoren Traffic emission factors	RPU$_9$), TÜVR$_{16}$), VPAF$_{13}$)
Verkehrsemissionen Traffic emissions	BI$_{15}$), RPU$_9$)

1) Technisches Überwachungsamt Kassel
2) Meß- und Prüfstelle für die Gewerbeaufsichtsverwaltung, Kassel
3) Hessischer Sozialminister, Wiesbaden
4) Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Frankfurt
5) Institut für Theoretische Meteorologie der Freien Universität Berlin
6) Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz, Essen
7) Hessische Zentrale für Datenverarbeitung, Wiesbaden
8) National Air Pollution Control Administration, USA
9) Regionale Planungsgemeinschaft Untermain, Frankfurt
10) Staatliche Gewerbeaufsichtsämter Darmstadt, Frankfurt, Gießen, Offenbach, Wiesbaden, Kassel
11) Hessische Landesanstalt für Umwelt, Wiesbaden
12) Landesinnungsverband des Schornsteinfegerhandwerks, Wiesbaden
13) Verkehrsplanungsamt der Stadt Frankfurt
14) Verkehrsplanungsamt der Stadt Hanau
15) Battelle-Institut, Frankfurt
16) Technischer Überwachungsverein Rheinland

1) Technical Control Office Kassel
2) Measuring and Control Agency of the Trade Board Administration, Kassel
3) Minister of Social Affairs of Hessen, Wiesbaden
4) Institute for Meteorology and Geophysics of Frankfurt University
5) Institute for Theoretical Meteorology of the Free University Berlin
6) Land Institute for Immission and Soil Protection, Essen
7) Data Processing Centre of Hessen, Wiesbaden
8) National Air Pollution Control Administration, USA
9) Regional Planning Community Untermain, Frankfurt
10) Governmental Trade Boards Darmstadt, Frankfurt, Giessen, Offenbach, Wiesbaden, Kassel
11) Environment Institute of the Land Hessen, Wiesbaden
12) Corporation of Chimney-sweeps, Wiesbaden
13) Traffic Planning Office of the City of Frankfurt
14) Traffic Planning Office of the City of Hanau
15) Battelle Institute, Frankfurt
16) Technical Control Association Rheinland

2.2.1. Industrie

Um den Brennstoffbedarf – unterteilt nach Brennstoffarten – festzustellen, wurde ein Fragebogen (1) mit 31 Fragen, zahlreichen Unterfragen und 2 Tabellen entworfen. Dabei wurden die Vorschläge und Hinweise von Bierbaum, Ozolins und Smith berücksichtigt.

Mit der vollständigen Beantwortung des Fragebogens wurden zahlreiche Informationen über die Verfeuerung von Brennstoffen, über Arbeitsprozeßverluste und über die Beseitigung fester Abfallstoffe gewonnen.

Mit Hilfe der zuständigen Gewerbeaufsichtsämter wurden die Fragebogen an ca. 800 Betriebe verschickt. Dadurch konnten 711 Einzelanlagen mit einem Heizwert über 800 000 kcal/h erfaßt werden. Das bedeutet ca. 80% aller Emittenten und fast 95% des gesamten SO_2-Auswurfes der Industrie im Untersuchungsgebiet.

Durch die im Fragebogen enthaltenen Angaben über den stündlichen und wöchentlichen Arbeitsrhythmus für Sommer und Winter konnte ein genaueres Bild über den Brennstoffverbrauch und über den SO_2-Auswurf gewonnen werden.

Zur Ermittlung des Staubgehaltes der Abgase dagegen war eine überschlägige Abschätzung notwendig. Aufgrund einer bislang unzureichenden Anzahl von Langzeitmeßwerten im Sinne der mathematischen Statistik konnten hier keine abgesicherten Parameter angesetzt werden. Der Unsicherheitsfaktor ist deshalb relativ groß.

Das Datenmaterial wurde anschließend elektronisch verarbeitet. Für die graphische Darstellung in diesem Bericht wurden stündliche und jährliche Mittelwerte pro Quadratkilometer errechnet. Für die Diffusionsberechnungen hingegen wurden die Emittenten mit einem SO_2-Auswurf über 1 kg/h als Punktquelle behandelt; die Emittenten unter 1 kg/h wurden dem Hausbrand zugeordnet und als Flächenemissionen im 500 x 500 m Raster berechnet (2).

Die verschiedenen Phasen zur katastermäßigen Erfassung der SO_2- und Staubemissionen können schematisch wie folgt dargestellt werden:

1. Auswertung des von der Industrie beantworteten Fragebogens. Ermittlung des Brennstoffverbrauchs nach Brennstoffart und Zeit (3stündliche Angaben getrennt nach Feier- und Arbeitstagen, nach Sommer und Winter) (3)

2. Berechnung des SO_2-Auswurfes unter Anwendung des ermittelten Schwefelgehaltes einzelner Brennstoffarten (s. Tab. 2)

3. Elektronische Übernahme und Bearbeitung der Daten (3): Ermittlung des SO_2- und Staubauswurfes einzelner Emittenten. Für den Staubauswurf wurden folgende Parameter bezogen auf den Gasauswurf angewandt (s. Tab. 3).

2.2.1. Industry

A questionnaire (1) with 31 questions, many subquestions and 2 tabulations was prepared in order to determine the fuel requirements, divided into fuel categories. Proposals and information from Bierbaum, Ozolins and Smith were taken into consideration for this purpose.

From the complete answers to the questionnaire a great deal of information on the consumption of fuel, losses during the working process and the disposal of solid waste was obtained.

With the assistance of the trade boards concerned the questionnaires were sent to about 800 enterprises. Thus 711 individual installations with a capacity of more than 800,000 kcal/h could be registered. This represents about 80% of all emittors and almost 95% of total SO_2-emissions of the industry in the survey area.

The data on the hourly and weekly working rhythm in summer and winter contained in the questionnaire made it possible to obtain more exact information on fuel consumption and SO_2-emissions.

To determine the dust contents of exhaust fumes, on the other hand, a rough estimate was required. It was impossible to establish safe parameters because up to now only insufficient long-term measuring data in terms of mathematical statistics have been available. Therefore the risk of inexact data is relatively high.

The data was then processed electronically. Average hourly and annual data per sq.km was computed for the graphic presentation in this report. However, for the calculation of the diffusion, emittors of more than 1 kg/h of SO_2 were regarded as a point source; emittors below 1 kg/h were registered under domestic fuel and calculated as area emissions in 500 x 500 m areas (2).

The various phases of the recording of SO_2- and dust-emissions in the form of an emission register can be described schematically as follows:

1. Evaluation of the questionnaire answered by the industry. Determination of fuel consumption in terms of type of fuel and time (3-hourly data divided into non-working and working days, summer and winter) (3).

2. Calculation of SO_2-emission using the determined sulfur contents of individual types of fuel (see table 2).

3. Electronic Data Processing (3):
Determination of SO_2- and dust-emission of individual emittors. The following parameters related to gas emission have been used for dust emission (see table 3).

4. Erfassung der unter Punkt 3. ermittelten Emissionen zur weiteren Anwendung für das Diffusionsmodell. Außerdem wurden o. g. Emissionen einem Raster von jeweils 1 x 1 km zur graphischen Darstellung zugeordnet.

Tab. 2: Schwefelgehalt nach Brennstoffarten für Industrie

Brennstoffart	Schwefelgehalt %
1 Heizöl EL	0,3 – 0,8
2 Heizöl S	1,0 – 2,2
3 Koks	1,0 – 1,1
4 Braunkohle	1,0 – 1,1
5 Steinkohle	0,8 – 1,1
6 Gas	0,0
7 Müll	0,0 – 1,0

Tab. 3: Verbrennungsstaub nach Brennstoffarten für Industrie

Brennstoffart	Verbrennungsstaub in mg/m³
Heizöl S	150
Kohle	150
Müll	125
Heizöl EL	nicht berücksichtigt

2.2.2. Hausbrand

Die häuslichen und kleingewerblichen Feuerstätten unter 800 000 kcal/h wurden unter Verwendung der Kehrbücher der Bezirksschornsteinfegermeister und durch Ortsbegehung erfaßt und im Gegensatz zu den Großemittenten der Industrie als Flächenemittenten betrachtet. Über den Kubikmeter umbauten Raum konnte der Eigenbedarf ermittelt werden. Der Arbeitsablauf ist folgender gewesen (3):

1. Durch die Bezirksschornsteinfegermeister und mit Hilfe der Kehrbücher wurden die benötigten Angaben über die verwendeten Brennstoffe in den einzelnen Gebäuden sowie in zentralbeheizten Anlagen über die Nennheizleistung der Feuerungsanlage gewonnen.

2. Festlegung von Bewertungsgruppen verschiedenen Wärmebedarfs. Sie wurden unter Berücksichtigung der Bauweise, der Lage und der klimatischen Verhältnisse der Räume und der Gebäude aufgestellt (3).

3. Berechnung des Brennstoffbedarfes unter Berücksichtigung der Wirkungsgrade und der unteren Heizwerte der verwendeten Brennstoffe. Folgende Gleichung wurde dazu verwendet:

$$B = b \cdot \frac{Q}{h \cdot \eta} \text{ kg/h}$$

4. Registration of the emissions determined under para 3) above for further application for the diffusion model. Moreover, the emissions mentioned above are the subject of a graphic chart in 1 x 1 km squares.

Table 2: Sulphur Contents for each type of industrial fuel

Type of fuel	Sulphur contents %
1 Heating fuel EL	0.3 – 0.8
2 Heating fuel S	1.0 – 2.2
3 Coke	1.0 – 1.1
4 Lignite	1.0 – 1.1
5 Coal	0.8 – 1.1
6 Gas	0.0
7 Garbage	0.0 – 1.0

Table 3: Combustion dust for each type of industrial fuel

Type of fuel	Combuation dust in mg/m³
Heating fuel S	150
Coal	150
Garbage	125
Heating fuel EL	not considered

2.2.2. Residential combustion

The domestic fire places and those of small trades below 800,000 kcal/h were registered with the aid of the sweeping books of the district chimney sweeps and of local inspections. Contrary to the major industrial emittors, they were regarded as area emittors. The domestic requirement was calculated per cu.m of interior space. The following procedure was applied (3):

1. The necessary data on the types of fuel used in the various buildings were provided by the district chimney sweeps and their sweeping books, and data on centrally heated facilities were obtained by means of the design filament power of the heating plant.

2. Evaluation groups for the assessment of different heat requirements were established by taking into consideration the type of construction, the location and climatic conditions of the rooms and buildings (3).

3. Calculation of the fuel requirement by taking into consideration the degrees of effectiveness and lower heating values of the fuel used. For this purpose the following equation was applied.

$$B = b \cdot \frac{Q}{h \cdot \eta} \text{ kg/h}$$

B = Brennstoffbedarf
b = Benutzungsdauer der Anlage
Q = Wärmebedarf
h = unterer Heizwert
η = Wirkungsgrade der Feuerstätte

4. Ermittlung der Brennstoffverbrauchsmengen mit Hilfe der Gradtagezahlen. Für die Erstellung des Emissionskatasters wurden die Gradtagezahlen für die Heizperiode 1. 9. 1970 – 31. 5. 1971 benutzt.

5. Berechnung der SO_2-, Staub- und CO-Emissionen unter Anwendung der in Tabelle 4 angegebenen Parameter. Im Gegensatz zur Industrie wurden hier auch die CO-Emissionen berechnet. Diese Überlegung stützt sich auf Ergebnisse, die vom Battelle-Institut in Frankfurt und vom TÜV Rheinland (4) in Köln erreicht wurden, wonach der prozentuale Anteil des Hausbrandes an der CO-Gesamtemission von Bedeutung ist.

Tab. 4: Schadstoffmengen nach Brennstoffarten für Hausbrand

Brennstoffart	SO_2 kg/t	Staub kg/t	CO kg/t
Steinkohle	11,1	10,9	27,2
Koks	15,3	1,3	127,5
Braunkohle	4,8	2,4	5,9
Öl EL	7,1	1,7	5,2
Gas*	0,0	0,3	2,8

* für Gas sind die Schadstoffmengen in kg/1000 m³ angegeben.

Die Berechnung des Brennstoffbedarfes sowie der Schadstoffemissionen wurden mit Hilfe der elektronischen Datenverarbeitung durchgeführt. Die flächenmäßige Erfassung der Hausbrandemissionen im 500 x 500-m-Raster war durch ihre weitere Anwendung für das Diffusionsmodell bedingt. Zur graphischen Darstellung wurden die Flächen auf Quadratkilometer umgelegt.

2.2.3. Verkehr

2.2.3.1. Straßenverkehr

Ursprünglich bestand die Absicht, den Gesamtverkehr des Untersuchungsgebietes flächenmäßig zu erfassen. Aus Personalmangel war es aber nicht möglich, eine vollständige Durchführung des Programmes zu gewährleisten. So konnten nur der Kfz-Verkehr der Städte Frankfurt und Hanau dank der Hilfe der entsprechenden Verkehrsplanungsämter, der Schiffsverkehr auf dem Main und der Flugverkehr auf dem Rhein-Main-Flughafen erfaßt werden. Dabei wurden für den Kfz- und den Schiffsverkehr die Schadstoffe SO_2 und CO, für den Flugverkehr der Schadstoff CO berücksichtigt. Zur Ermittlung der Kfz-Emissionen sind gemäß Graphik 1 folgende Daten erforderlich:

1. Verkehrsströme als Tages- und Wochengang in Fahrzeug/h mit prozentualem Lkw-Anteil in allen Straßen des Untersuchungsgebietes zur Errechnung der zurückgelegten Kilometer pro Stunde.

B = Fuel requirement
b = Duration of usage of the plant
Q = Heat requirement
h = Lower heating value
η = Effectiveness of the heating plant in degrees

4. Determination of fuel consumption quantities based on even days' figures. The emission register was based on even days' figures for the heating period from 1 Sept. 1970 to 31 May 1971.

5. Computation of the SO_2, dust and CO emissions by applying the parameters shown in table 4. Contrary to the data on the industry these figures include also the calculation of CO emissions. This decision has been taken because of the results obtained by the Battelle Institute in Frankfurt and the TÜV Rheinland in Köln (4), according to which the percentage of domestic fuel in total CO emissions is of importance.

Table 4: Quantities of pollutants according to types of fuel for the residential combustion

Type of fuel	SO_2 kg/t	Dust kg/t	CO kg/t
Coal	11.1	10.9	27.2
Coke	15.3	1.3	127.5
Lignite	4.8	2.4	5.9
Oil	7.1	1.7	5.2
Gas*	0.0	0.3	2.8

* quantities of pollutants for gas are indicated in kg/1000 m³.

The fuel requirements and pollutant emissions were calculated by way of electronic data processing. The domestic fuel emissions had to be registered by areas in 500 x 500 m squares because they were required for further application to the diffusion model. The graphic chart shows the areas per sq.km.

2.2.3. Traffic

2.2.3.1. Road traffic

Originally it had been intended to register the total traffic in the survey region by areas. However, due to a shortage of personnel it was not possible to implement the programme completely. Therefore only motor vehicle traffic in the cities of Frankfurt and Hanau (thanks to the assistance by the traffic planning offices concerned), shipping on the Main and the air traffic at the Rhein-Main airport were included in the survey. The pollutants SO_2 and CO were measured in motor vehicle traffic and shipping, and CO in air traffic. As shown in graphic 1 the following data are required to determine motor vehicle emissions:

1) Daily and weekly traffic (vehicles per hour including percentage of lorries) on all roads of the survey area to calculate the covered km/h.

2. Mittlere Fahrgeschwindigkeiten der Verkehrsströme zur Ermittlung der mittleren Emissionsfaktoren.

3. Prozentuale Zusammensetzung des Verkehrsstromes im Untersuchungsgebiet nach Kfz-Arten.

4. Mittlere gewichtete Emissionsfaktoren, die das durchschnittliche Emissionsverhalten des Verkehrsstromes in Abhängigkeit von der mittleren Fahrgeschwindigkeit kennzeichnen. Die Wichtung der mittleren Emissionsfaktoren der einzelnen Fahrzeugtypen erfolgt gemäß der prozentualen Zusammensetzung des Verkehrsstromes.

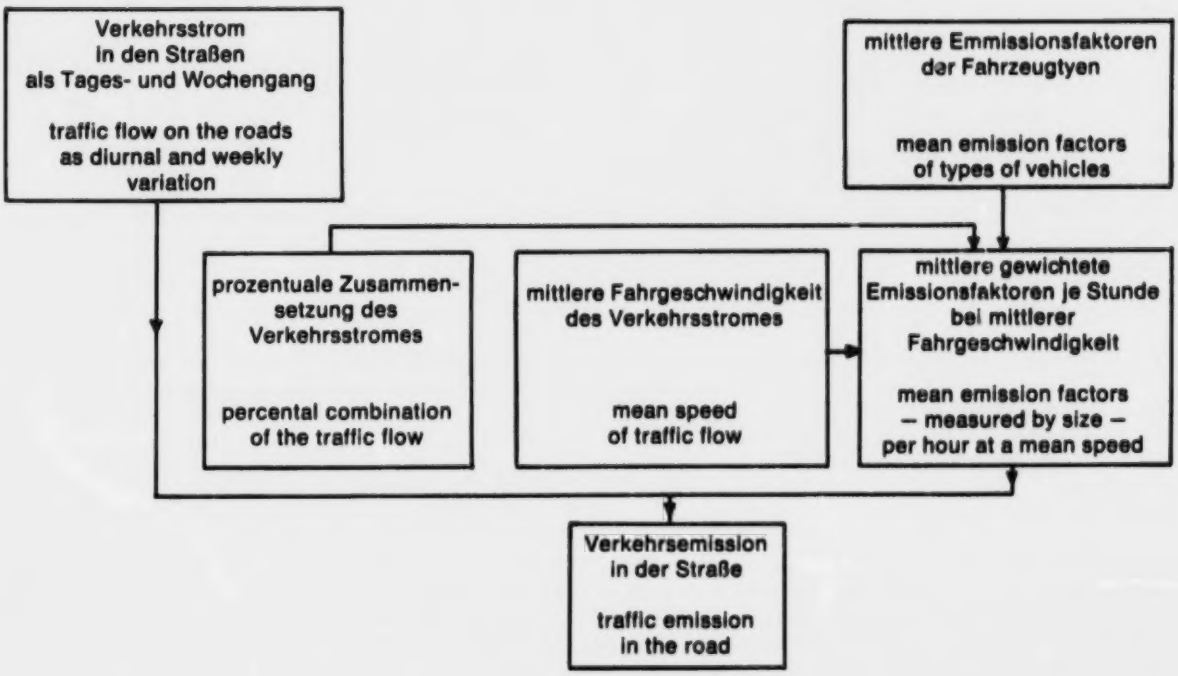
2. Average travelling speed of the vehicles to determine the average emission factors.

3. Percentage of the various types of vehicles involved in the traffic in the survey area.

4. Average weighted emission factors which are typical for the average traffic emissions depending on the average speed. The average emission factors of the various types of vehicles were weighted according to the percentage of the various types of vehicles involved in traffic.

Schema zur Ermittlung der Verkehrsemissionen **Graphik 1:**

Scheme for the investigation of traffic emissions **Diagram 1:**



Von den Verkehrsplanungsämtern der Städte Frankfurt und Hanau wurden folgende Verkehrsdaten zusammengestellt:

1. Die insgesamt in 24 Stunden zurückgelegten Kilometer (Kfz-km/24 h) bzw. die Verkehrsmenge Kfz/h auf den Straßenabschnitten mit der Länge des Straßenabschnittes.

2. Die für das Katasterquadrat typische mittlere Geschwindigkeit bzw. die mittleren Geschwindigkeiten auf den einzelnen Straßenabschnitten des Katasterquadrates.

3. Der Lkw-Anteil (%).

4. Prozentuale Verteilung des Tagesverkehrs (Tagesgang).

The following data was collected by the traffic planning offices in Frankfurt and Hanau:

1. Kilometers covered in total during 24 hours (vehicle km/24 h) and the traffic volume per hour on the road sectors together with the length of the road sector.

2. Average speed typical for the registration square and average speeds on the various road sectors of the registration square.

3. Percentage of lorries.

4. Breakdown of daily traffic in per cent.

Der Ermittlung der Verkehrsmengen liegen gezählte und geschätzte Verkehrsmengen zugrunde. Da die gezählten Verkehrsmengen aus den Jahren 1970 bis 1972 stammten, mußten diese zunächst für den Erhebungszeitraum 1972 hochgerechnet werden, die 24-h-Pegel lieferten. Der Rest mit 60% war in 16 h bzw. 8 h manueller Zählungen erhoben worden, wobei auch Fahrzeugunterscheidungen gemacht wurden. Diese verschiedenen Erhebungszeiträume und -arten mußten wiederum zur erforderlichen Einheit (Kfz/24 h) umgerechnet werden. Die Umrechnungsfaktoren konnten aus den automatischen Pegelzählungen errechnet werden. Geringfügige Abweichungen zwischen automatischer und manueller Zählung, wie sie z. B. durch Zwillingsachsen, Lkw mit Anhänger etc., entstehen, wurden nicht berücksichtigt.

The traffic volume was partly registered and partly estimated. Since the registered data of the traffic volume covered the period 1970 to 1972, they had to be recalculated to show the 24 h gauge during the survey period of 1972. The remaining 60% were registered by hand for 16 h and 8 h and distinctions were made between the various types of vehicles. These different methods and periods of the survey had to be converted again to obtain the necessary unit (vehicle/24 h). The conversion factors could be derived from the automatic gauge registrations. Minor differences between automatic and manual registrations such as those which are caused by twin-axle trucks, lorries with trailers etc., have not been taken into consideration.

Die so zusammengestellten Verkehrsmengen ergaben für das Hauptverkehrsstraßennetz einen relativ vollständigen Belastungsplan, bei dem Lücken durch Schätzungen zu ergänzen waren.

The traffic volume compiled in this way resulted in a relatively complete traffic load plan for the main traffic road network, and gaps had to be filled with estimated figures.

Bei allen übrigen Straßen mußte mit pauschal geschätzten Verkehrsmengen gerechnet werden. Dabei wurde eine grobe Klassifizierung der Straßen nach Wohn-, Erschließungs- und Sammelstraßen vorgenommen und je nach örtlicher Bedeutung der Straße bzw. der vorhandenen Bebauung auf eine Verkehrsmenge geschlossen. Dabei wurden bei

Wohnstraßen	50 – 1000 Kfz/24 h
Erschließungsstraßen	1000 – 2000 Kfz/24 h
Sammelstraßen	2000 – 5000 Kfz/24 h

In the case of all other roads roughly estimated traffic volumes had to be used for the calculations. In this connection roads were roughly classified in roads in housing districts, access roads and collecting roads, and the traffic volume was estimated taking into account the local importance of the road or the existing buildings. The estimate was based on the following:

Roads in housing districts	50 – 1,000 vehicles/24 h
Access roads	1,000 – 2,000 vehicles/24 h
Collective roads	2,000 – 5,000 vehicles/24 h.

zugrunde gelegt und örtlich bauliche Besonderheiten, wie z. B. ein Hochhaus, gesondert berücksichtigt. Diese Schätzungen ergeben, bezogen auf einen Raster von 500 m, wegen ihren geringen Verkehrsmengen und damit gefahrenen Kilometern geringe Fehlerquoten, sobald sie mit den Verkehrsstraßen zusammengefaßt werden.

Special local buildings, as, for instance, a sky-scraper, were taken into consideration separately. Related to a square of 500 m the error quota in these estimates is small because of the minor traffic volume and the small number of kilometers covered, as soon as they are combined with the traffic roads.

Die so ermittelten Verkehrsmengen wurden nun abschnittsweise, d. h. soweit von Knoten zu Knoten unterschiedliche Belastungswerte vorlagen, mit den entsprechenden Längen multipliziert (Fahrzeugkilometer/24 h).

The traffic volume thus obtained was then multiplied sector by sector – i. e. as far as different load data had been obtained from the one point to the next – with the length of each sector (vehicle km/24 h).

Die ermittelte mittlere Geschwindigkeit pro Quadrat bezieht sich auf eine mittlere Verkehrsmenge außerhalb der Spitzenzeiten bei ungestörtem Verkehrsfluß. Da auf Schnellverkehrsstraßen und Stadtstraßen unterschiedliche Geschwindigkeiten gefahren werden, wurde durch eine Wichtung aufgrund der Fahrzeugmengen versucht, eine realistische mittlere Geschwindigkeitsangabe pro Quadrat anzugeben.

The average speed determined per square refers to the average traffic volume under undisturbed traffic conditions outside peak hours. Since vehicles travel with different speeds on high-speed traffic roads and city roads it was attempted to indicate a realistic average speed per square on the basis of the number of vehicles.

Der Lkw-Anteil konnte mit Hilfe der manuellen Zählungsdaten ermittelt werden und ist je nach Örtlichkeit und Struktur des Gebietes auf andere Quadrate übertragen worden, soweit keine Zählunterlagen zur Verfügung standen.

The percentage of lorries was obtained on the basis of the manual registration data and was transferred to other squares depending on the location and structure of the region when no other registration data were available.

Für das gesamte Gebiet wurde mit Hilfe der automatischen Zählungen eine mittlere Tagesganglinie ermittelt. Hierzu sind z. B. in Frankfurt 27 ausgewählte,

An average daily traffic line for the whole region was obtained through automatic registration. In Frankfurt, for instance, 27 cross-sections spread over the whole

über das Stadtgebiet verteilte, Querschnitte berücksichtigt worden, wobei von mehreren normalen Wochentagen mittlere Pegel Verwendung fanden. Die Abweichung der Einzelpegel vom Normalpegel ergaben sich für Frankfurt mit ± 3% in den Spitzenzeiten, in den sonstigen Zeiten ± 1%. Mit der prozentualen Verteilung des Tagesverkehrs auf die einzelnen Stunden des Tages lassen sich Spitzenverkehrsmengen ermitteln mit den genannten Genauigkeitsgrenzen.

Alle Ergebnisse spiegeln den Zustand des Erhebungszeitraumes wider und erfordern bei veränderter Verkehrsführung oder sonstigen Änderungen eine Überarbeitung bzw. Fortschreibung.

Verwendete Emissionsfaktoren

Im Rahmen einer Modelluntersuchung im Großraum Köln zur Aufstellung eines Emissionskatasters für luftverunreinigende Stoffe (5) wurden bereits mittlere gewichtete Emissionsfaktoren ermittelt. Sie sind in Tabelle 4 und 5 wiedergegeben. Die Wichtung der mittleren Emissionsfaktoren der einzelnen Fahrzeugtypen erfolgte entsprechend der Fahrzeugtypenverteilung im gesamten Bundesgebiet. Insgesamt 44 Pkw-Fahrzeuge und einige Lkw-Fahrzeuge wurden auf einem Abgasprüfstand untersucht. Ihre Auswahl erfolgte so, daß die Testfahrzeuge in ihrer Verteilung die Verhältnisse im Straßenverkehr möglichst gut nachbildeten. So wurde die Auswahl der Testfahrzeuge auf die am häufigsten vertretenen 30 Typen (etwa $^2/_3$ aller Pkw-Fahrzeuge) beschränkt. Die Anzahl eines bestimmten Typs wurde nach seinem zahlenmäßigen Anteil in der Bundesrepublik Deutschland festgelegt. Wegen des geringen Lkw-Anteils im Großstadtverkehr wurden die Lkw-Emissionen nur mit wenigen Testfahrzeugen auf dem Fahrleistungsprüfstand ermittelt.

city were selected for that purpose, and the average gauges on several normal weekdays were used. The individual gauges differed from the normal gauge in Frankfurt during the peak hours by ± 3% during normal periods by ± 1%. A breakdown of the daily traffic to each hour of the day in per cent shows the peak traffic volumes with the limits of accuracy mentioned above.

All results reflect the conditions during the survey period and they require revision and follow-up action if there are changes in traffic conditions or other essential changes.

Emmission factors used

During a model analysis in the major area of Cologne to establish an emission register of air pollutants (5) average weighted emission factors were already determined. They are shown in tables 4 and 5. The weighting of the average emission factors of the various vehicle types was based on the distribution of the vehicle types over the whole territory of the Federal Republic of Germany. 44 cars and some lorries were examined at an exhaust fumes test station. The test vehicles were selected to represent as well as possible in their distribution the conditions prevailing in road traffic. The selection of test vehicles, for instance, was restricted to the most frequent 30 types of vehicles (about 2/3 of all cars). The number of a certain vehicles type was based on its share in the total numbers of vehicles in the Federal Republic of Germany. Because of the small share of lorries in city traffic the emissions of lorries were determined at a vehicle performance test station using only a few test vehicles.

Mittlere gewichtete Emissionsfaktoren $e_k(_{vm})$ [g/km Kfz] für Pkw **Tab. 4:**

Average weighted emissions factors $e_k(_{vm})$ [g/km vehicle] for cars **Table 4:**

Mittlere Geschwindigkeit Vm/km/h/ Average speed Vm/km/h/	100	60	42,5	26	19,5	13,5	6,0
Kohlenmonoxyd Carbon monoxide	15,7	17,3	19,3	28,9	40,6	53,8	97,5
Schwefeldioxyd Sulfur dioxide	0,028	0,027	0,033	0,024	0,051	0,059	0,1

Mittlere gewichtete Emissionsfaktoren $e_k(_{vm})$ [g/km Kfz] für Lkw **Tab. 5:**

Average weighted emission factors $e_k(_{vm})$ [g/km vehicle] for lorries **Table 5:**

Mittlere Geschwindigkeit Vm/km/h/ Average speed Vm/km/h/	85	60	42,5	26	19,5	13,5
Kohlenmonoxyd Carbon monoxide	6,28	6,30	6,91	8,09	9,12	12,0
Schwefeldioxyd Sulfur dioxide	0,96	0,96	0,96	0,1	1,03	1,03

Zur Ermittlung der Emissionen der interessierenden Abgaskomponenten wurden Testzyklen entwickelt, die den wirklichen Fahrzuständen in bezug auf die ver-

In order to determine the emissions of exhaust fumes components of interest test cycles were developed which were widely in line in terms of specific traffic

kehrsspezifischen Merkmale weitgehend entsprechen. Die Testzyklen bestehen aus den aufeinanderfolgenden Phasen: Stand – Beschleunigung – konstante Geschwindigkeit – Verzögerung – Stand. Die zeitlichen Anteile der einzelnen Phasen, die mittlere Geschwindigkeit und die mittlere Beschleunigung bzw. Verzögerung entsprachen den mit einem Testfahrzeug im Straßenverkehr aufgenommenen Werten. Stellvertretend für alle in einem bestimmten Geschwindigkeitsbereich liegenden Fahrzustände wurde nur eine beschränkte Anzahl von Testzyklen bei bestimmten mittleren Geschwindigkeiten ausgewählt. Die Verkehrsemissionen pro Katasterquadrat werden gemäß folgender Formel berechnet:

$E_\eta(t) = \Sigma_i e_k (v_{mi}) \cdot Vi\,(t) \cdot li\ [g/h]$

$e_k (v_{mi})$ = mittlerer gewichteter Emissionfaktor der Abgaskomponente K in Abhängigkeit von der mittleren Geschwindigkeit vm im Straßenabschnitt i (Dimension g/Fz.km)

i = Anzahl der Straßenabschnitte im Katasterquadrat

Vi(t) = Verkehrsmenge im Straßenabschnitt i in der Zeit t (Dimension Fz/h)

li = Länge des Straßenabschnitts i (Dimension km)

2.2.3.2. Flugverkehr

Im Bereich des Flughafens Rhein-Main wurden nur die Flugzeugbewegungen am Boden und in der An- und Abflugschneise bis zu ca. 4 NM (nautical miles) untersucht. Die Bewegungen anderer Kraftfahrzeuge auf dem Gelände wurden dabei nicht berücksichtigt. Die Flugzeugbewegungen für das Jahr 1971, unterteilt nach Triebwerkart, wurden aus dem Statistischen Bericht des Flughafens (6) entnommen. Unter Hinzuziehung der Emissionsparameter, die von der Landesanstalt für Imissions- und Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (7) ermittelt wurden, konnten die CO-Emissionen eines fiktiven Äquivalenttriebwerks gerechnet werden. SO_2-Emissionen wurden hier wegen ihrer anteilmäßig geringen Bedeutung nicht berücksichtigt. In Tabelle 6 wird die durchschnittliche Zeit angegeben, die zur Abwicklung eines Land- und Startzyklus (LTO-Zyklus) benötigt wird.

Tab. 6: Durchschnittliche Zeit zur Abwicklung eines LTO-Zyklus' für ein fiktives Äquivalenttriebwerk auf dem Rhein-Main-Flughafen

Leerlauf und Rollen bis zur Startfreigabe	16 min. = 0,266 Std.
Startbeschleunigung bis zum Abheben	0,75 min. = 0,012 Std.
Steigflug im Flughafenbereich (innerhalb der Abflugschneise < 4 NM)	2 min. = 0,033 Std.
Landeanflug im Flughafenbereich (innerhalb der Anflugschneise < 4 NM)	1,3 min. = 0,021 Std.
Rollen und Leerlauf nach dem Aufsetzen	3 min. = 0,050 Std.

characteristics with real driving conditions. The test cycles consist of the following successive cycles: stationary position – acceleration – constant speed – deceleration – stationary position. The shares in terms of time of the various phases, the average speed and the average acceleration or deceleration were identical to the data measured with a test vehicle in road traffic. Only a reduced number of test cycles at certain average speeds were selected as representative of all driving conditions within a certain range of speed. The traffic emissions per emission register square were calculated on the following formula:

$E_\eta(t) = \Sigma_i e_k (v_{mi}) \cdot Vi\,(t) \cdot li\ [g/h]$

$e_k (v_{mi})$ = average weighted emission factor of exhaust fumes component k in dependence on the average speed vm in road section i (Dimension g/vh.km)

i = number of road sections in register square

Vi(t) = traffic volume in road section i during the period t (Dimension vh/h)

li = length of road section i (dimension km)

2.2.3.2. Air traffic

In the area of the Rhein-Main airport only the aircraft movements on the ground and in the approach and departure corridors up to an altitude of about 4 NM (nautical miles) were analysed. No account was taken of the movement of other motor vehicles in the area. The aircraft movements for 1971, sub-divided by types of engine, were taken from the statistical report of the airport (6). It was possible to calculate the CO-emissions of a fictive equivalent engine by using the emission parameters ascertained by the "Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz" of the Land Nordrhein-Westfalen (7). Because of their insignificant share SO_2-emissions were not taken into consideration. Table 6 shows the average time required to carry out a landing and take-off cycle.

Table 6: Average time to carry out a landing and take-off cycle for a fictive equivalent engine at the Rhein-Main airport

Idle running and taxying until take-off clearance	16 min. = 0.266 hrs.
Acceleration until lift-off	0.75 min. = 0.012 hrs.
Ascent in airport area (within departure corridor < 4 NM)	2 min. = 0.033 hrs.
Approach in airport area (within approach corridor < 4 NM)	1.3 min. = 0.021 hrs.
Taxying and idle running after touchdown	3 min. = 0.050 hrs.

Nach den Flughafenbestimmungen erfolgen ca. 90% des Gesamtflugverkehrs zwischen 6.00 Uhr und 22.00 Uhr. So wurden die täglichen mittleren Gesamtbewegungen auf 16 Stunden eingeteilt.

2.2.3.3. Schiffsverkehr

Die Ermittlung des Schiffsverkehrs auf dem Main geht davon aus, daß die zahlreichen Schleusen von 22.00 Uhr bis 6.00 Uhr nicht in Betrieb sind. Auch in diesem Fall wurden die Gesamtschiffsbewegungen auf 16 Stunden eingeteilt und nach den Angaben des Statistischen Landesamtes den einzelnen Bestimmungshäfen zugeordnet. Aus dem Bericht „Umweltfreundliche Technik – Verfahren und Produkte" (8) wurden die in der Tabelle 7 angegebenen Emissionsparameter übernommen.

Tab. 7: Schadstoffanteile im Abgas von Dieselmotoren in kg/kg Kraftstoff

CO	0,03
SO_2	0,01

Nach Rücksprache bei den zuständigen Ämtern wurde der Kraftstoffverbrauch bei beladenem Schiff (1000 t) auf ca. 55 Liter und bei leerem Schiff auf 35 Liter je Betriebsstunde angesetzt. Die Fahrzeiten von der Mainmündung bis zu den jeweiligen Bestimmungshäfen wurden in der Tabelle 8 angegeben. Die gleichen Zeiten wurden für die umgekehrte Richtung angenommen.

Tab. 8: Fahrzeiten von der Mainmündung bis zum Bestimmungshafen für den Schiffsverkehr

von der Mainmündung nach	Zeit in min.
Rüsselsheim	45
Höchst	125
Frankfurt	180
Offenbach	230
Hanau und Durchgangsverkehr	370

2.3. Ergebnisse

Die Emissionen getrennt nach den drei Bereichen sind in Tabelle 9 erfaßt worden. Die Gesamtemissionen für Schwefeldioxid betragen 113 592 t/a, für Staub 11 340 t/a und für Kohlenmonoxid 101 023 t/a.

Tab. 9: Emissionen in 10^3 kg/a in den drei Bereichen

Bereich	SO_2	Staub	CO
Industrie	91 093,0	4 796,8	unberücks.
Hausbrand	22 007,8	6 543,5	38 423,0
Verkehr*	491,8	u	62 600,9
Gesamt	113 592,6	11 340,3	101 023,9

* Kfz-Verkehr nur für die Städte Frankfurt und Hanau

According to the airport regulations about 90% of the air traffic is carried out between 600 a. m. and 2200 p. m. The daily average movements were therefore distributed over 16 hours.

2.2.3.3. Shipping traffic

In determining the movements of ships on the river Main it has been assumed that the numerous locks are closed from 2200 p. m. to 600 a. m. In this case the movements of ships were also distributed over 16 hours and allocated to the various ports of destination in accordance with the information of the Statistical Office of the Land. The emission parameters listed in table 7 were taken from the report "Umweltfreundliche Technik – Verfahren und Produkte" (8).

Table 7: Share of pollutants in the exhaust fumes of diesel engines in kg/kg fuel

CO	0.03
SO_2	0.01

After consultation of the appropriate agencies the fuel consumption of loaded ships (1000 t) was estimated at 55 litres and of empty ships at 35 litres per operating hour. The times required from the mouth of the river Main to the ports of destination are listed in table 8. The same times were also assumed for the return trips.

Table 8: Shipping times from the mouth of the river Main to the ports of destination

From the mouth of the river Main to	Time in minutes
Rüsselsheim	45
Höchst	125
Frankfurt	180
Offenbach	230
Hanau and transit traffic	370

2.3. Results

The emissions in the three separate sectors are shown in table 9. The total emissions for sulfur dioxide are 113.592 t/a, for dust 11.340 t/a and for carbon monoxide 101.023 t/a.

Table 9: Emissions in 10^3 kg/a in the three sectors

Sector	SO_2	Dust	CO
Industry	91.093,0	4.796,8	not cons.
Domestic fuel	22.007,8	6.543,5	38.423,0
Traffic*	491,8	not cons.	62.600,9
Total	113.592,6	11.340,3	101.023,9

* Only vehicle traffic in the towns of Frankfurt and Hanau

Die geographische Verteilung dieser Emissionen wird in den Karten 4 bis 13 dargestellt: Die stündlichen Mittelwertemissionen wurden zusammen für drei Bereiche erfaßt; die jährlichen Gesamtemissionen hingegen wurden getrennt nach den einzelnen Bereichen dargestellt.

2.3.1. Industrie

Unter dem Begriff „Industrie" werden alle Feuerungsanlagen über 800 000 WE/kcal/h berücksichtigt. Daher sind hier nicht nur die „reinen" industriellen Emissionen enthalten, sondern auch die Emissionen von Anlagen, die zu dem tertiären Sektor, der Dienstleistung, gehören (z. B. Krankenhäuser, Universität etc.). Dagegen wurden die Feuerungsanlagen der Industrie, die unter 800 000 kcal/h liegen, dem Hausbrand zugeordnet. Aus diesen Gründen ist eine klare Unterscheidung zwischen Industrie- und Hausbrandemissionen nicht ganz möglich.

Der Bedarf nach den verschiedenen Brennstoffarten für das Jahr 1970–71 wird in der nächsten Tabelle (Tab. 10) wiedergegeben. Daraus ergibt sich, daß der Ölverbrauch sowohl bei der Industrie als auch beim Hausbrand die größte Bedeutung hat.

Tab. 10: Brennstoffbedarf im Jahr 1970–71 in 10^3 kg*

Brennstoffart	Industrie	Hausbrand
Öl (El + S)	2 101 100	1 338 253
Koks	7 170	166 142
Braunkohle	86	632 101
Steinkohle	739 960	232 607
andere Kohlenarten	319 538	— —
Gas *	233 979	121 875

* für Gas in m^3

Es wurde weiter der Anteil der verschiedenen Brennstoffarten an den Gesamtemissionen (s. Tab. 11) berechnet.

Tab. 11: Industrie-Emissionen nach verwendeten Brennstoffarten in 10^3 kg/a

Brennstoffart	SO_2	Staub
Müll	3 799,744	200,425
Öl (EL + S)	63 380,734	2 987,878
Koks	139,901	11,877
Braunkohle	1,752	0,175
Steinkohle	15 200,702	1 149,224
andere Kohlenarten	6 205,853	447,268
Gas	2 364,326	—,—
Gesamt	91 093,012	4 796,847

Eine Prozentuierung der SO_2-Gesamtemissionen nach Wirtschaftsabteilungen ergibt, daß die Energiewirtschaft und die Chemie- und Mineralölverarbeitung die Hauptemittenten für den industriellen Bereich darstellen (s. Tab. 12).

The geographical distribution of these emissions is shown in charts 4 to 13: the average hourly emissions are shown together for all three sectors; however, the total annual emissions are shown for the separate sectors.

2.3.1. Industry

All furnaces above 800,000 heating unit/kcal/h are covered under the term "industry". Therefore, not only the industrial emissions proper are shown but also the emissions belonging to the tertiary sector of services (e. g. hospitals, universities, etc.). Furnaces of industry below 800,000 Kcal/h, on the other hand, are shown unter the data for domestic fuel. For this reason, a clear distinction between industrial and domestic emissions is not quite possible.

The requirements for the various types of fuel in 1970 to 1971 are shown in the next table (table 10). This table shows that the oil consumption is the highest both in the industrial and domestic sector.

Table 10: Fuel requirements in 1970 – 1971 in 10^3 kg*

Type of fuel	Industry	Domestic
Oil (EL+S)	2 101 100	1 338 253
Coke	7 170	166 142
Lignite	86	632 101
Hard coal	739 960	232 607
other types of coal	319 538	— —
Gas*	233 979	121 875

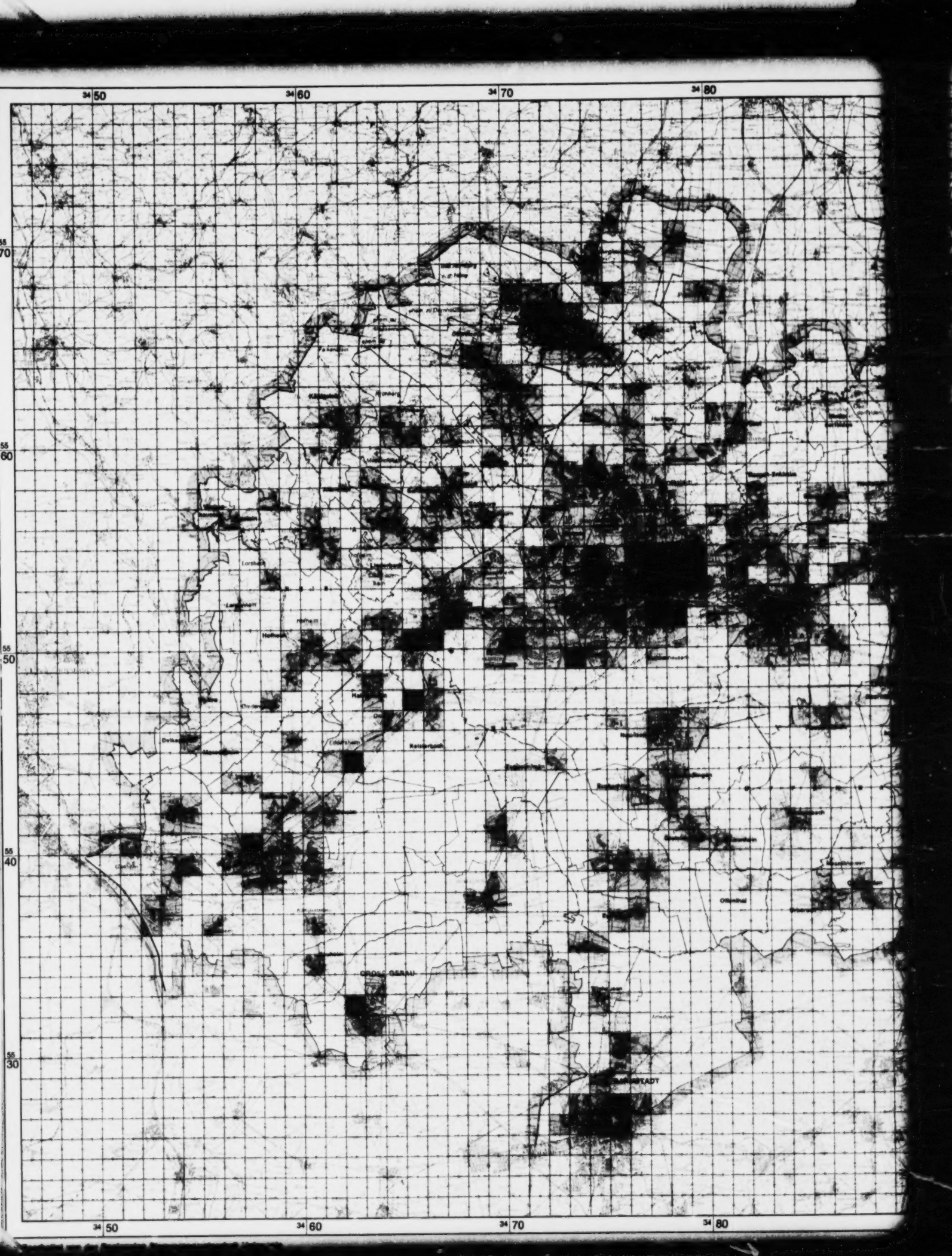
* for gas in m^3

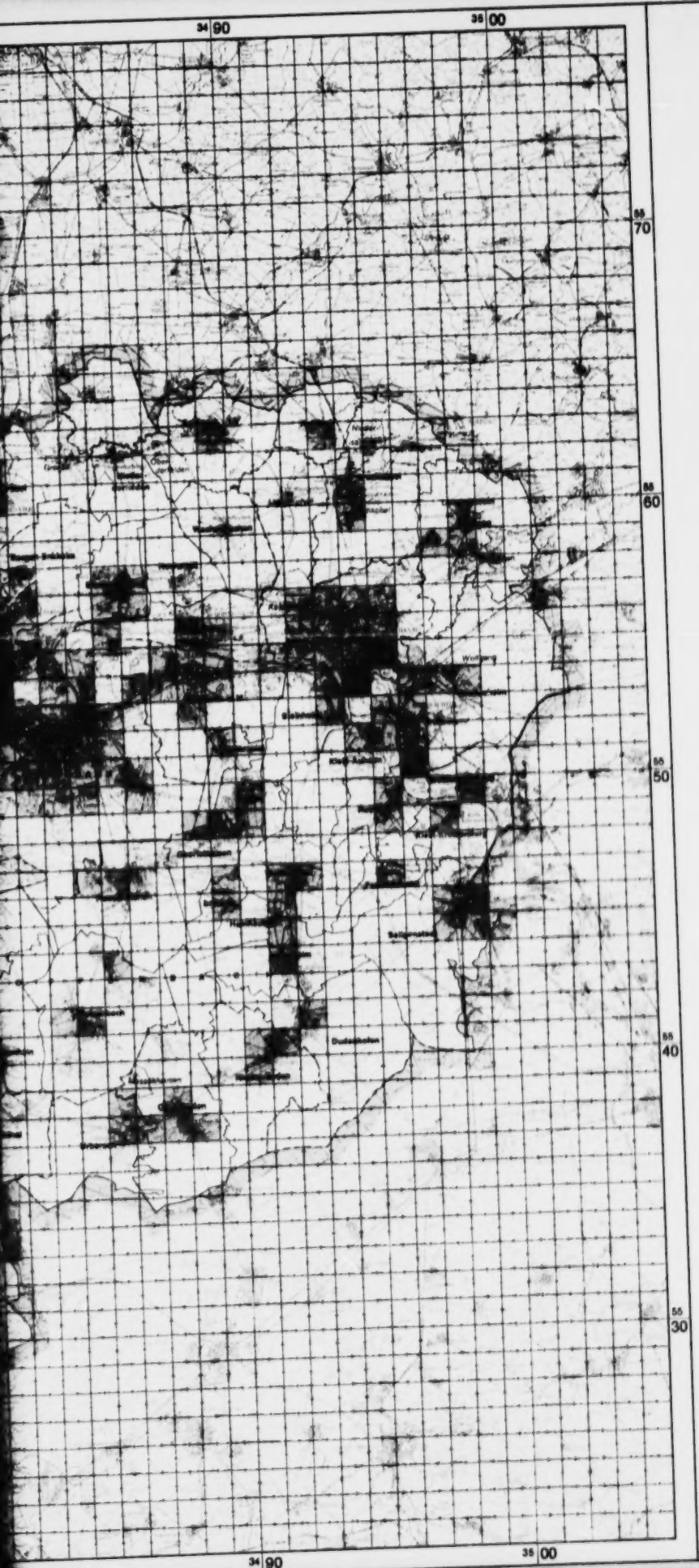
The share of the various types of fuel in the total emissions was also calculated (table 11).

Table 11: Industrial emissions according to types of fuel in 10^3 kg/a

Type of fuel	SO_2	Dust
Garbage	3 799,744	200,425
Oil (EL + S)	63 380,734	2 987,878
Coke	139,901	11,877
Lignite	1,752	0,175
Hard coal	15 200,702	1 149,224
other types of coal	6 205,853	447,268
Gas	2 364,326	—.—
Total	91 093,012	4 796,847

A distribution in per cent of the total SO_2-emissions over the various sectors of the economy shows that the energy industry, the chemical and the mineral oil processing industries are the main emittors in the industrial sphere (table 12).


34 50
34 60
34 70
34 80
55 70
55 60
55 50
55 40
55 30
Lorsch
Heppenheim
Bensheim
Zwingenberg
Rimbach
Reichelsheim
Fürth
Erbach
Michelstadt
Beerfelden
Hirschhorn
Neckarsteinach
Eberbach
Neckargemünd
Wiesloch
Walldorf
Sandhausen
Schwetzingen
Hockenheim
Ketsch
Plankstadt
Oftersheim
Ladenburg
Weinheim
Viernheim
Lampertheim
Bürstadt
Biblis
Groß-Gerau
Rüsselsheim
Raunheim
Kelsterbach
Flörsheim
Hochheim
Hattersheim
Eschborn
Bad Homburg
Oberursel
Königstein
Kronberg
Hofheim
Kriftel
Eppstein
Frankfurt
Offenbach
Dreieich
Langen
Neu-Isenburg
Dietzenbach
Rodgau
Seligenstadt
Mühlheim
Hanau
Maintal
Bruchköbel
Gelnhausen
Schlüchtern
Steinau
Bad Orb
Wächtersbach
Gründau
Nidderau
Erlensee
Karben
Bad Vilbel
Friedberg
Butzbach
Münzenberg
Wölfersheim
Reichelsheim
Florstadt
Nidda
Schotten
Ortenberg
Büdingen
Gedern
Ranstadt
Glauburg
Limeshain
Hungen
Lich
Laubach
Grünberg
Alsfeld
Homberg
Gießen
Wetzlar
Braunfels
Leun
Herborn
Dillenburg
Haiger
Siegen
Biedenkopf
Gladenbach
Bad Laasphe
Netphen
Kreuztal
Hilchenbach
Bad Berleburg
Erndtebrück
Bad Wildungen
Frankenberg
Battenberg
Korbach
Waldeck
Arolsen
Volkmarsen
Diemelsee
Willingen
Brilon
Winterberg
Medebach
Sundern
Meschede
Olsberg
Arnsberg
Schmallenberg
Eslohe
Hallenberg
Lennestadt
Kirchhundem
Attendorn
Olpe
Drolshagen
Wenden
Kreuztal
Hilchenbach
Netphen
Dahlbruch
Siegen
Freudenberg
Kirchen
Wissen
Betzdorf
Altenkirchen
Hachenburg
Westerburg
Rennerod
Bad Marienberg
Selters
Montabaur
Ransbach-Baumbach
Dierdorf
Neuwied
Bad Hönningen
Linz
Remagen
Sinzig
Bad Neuenahr-Ahrweiler
Adenau
Mayen
Andernach
Koblenz
Vallendar
Lahnstein
Bad Ems
Nassau
Diez
Limburg
Hadamar
Weilburg
Runkel
Villmar
Aßlar
Braunfels
Leun
Herborn
Dillenburg
Haiger
Siegen
Biedenkopf
Gladenbach
Bad Laasphe
Netphen
Kreuztal
Hilchenbach
Bad Berleburg
Erndtebrück
Bad Wildungen
Frankenberg
Battenberg
Korbach
Waldeck
Arolsen
Volkmarsen
Diemelsee
Willingen
Brilon
Winterberg
Medebach
Sundern
Meschede
Olsberg
Arnsberg
Schmallenberg
Eslohe
Hallenberg
Lennestadt
Kirchhundem
Attendorn
Olpe
Drolshagen
Wenden
Kreuztal
Hilchenbach
Netphen
Dahlbruch
Siegen
Freudenberg
Kirchen
Wissen
Betzdorf
Altenkirchen
Hachenburg
Westerburg
Rennerod
Bad Marienberg
Selters
Montabaur
Ransbach-Baumbach
Dierdorf
Neuwied
Bad Hönningen
Linz
Remagen
Sinzig
Bad Neuenahr-Ahrweiler
Adenau
Mayen
Andernach
Koblenz
Vallendar
Lahnstein
Bad Ems
Nassau
Diez
Limburg
Hadamar
Weilburg
Runkel
Villmar
Aßlar



Karte 4
Map 4

SO_2-Emissionen in kg/h im Winter 1970/71
für die Bereiche Industrie, Hausbrand, Verkehr
SO_2-emissions in kg/h during winter 1970/71
for the sectors industry, residential combustion, traffic

SO_2 kg/h

- 0–1
- 1–10
- 10–100
- 100–1000
- 1000–3000

Grenze des Untersuchungsgebietes
Border of the investigation area

Landesgrenze
State border

Kreisgrenze
District border

Gemeindegrenze
Community border

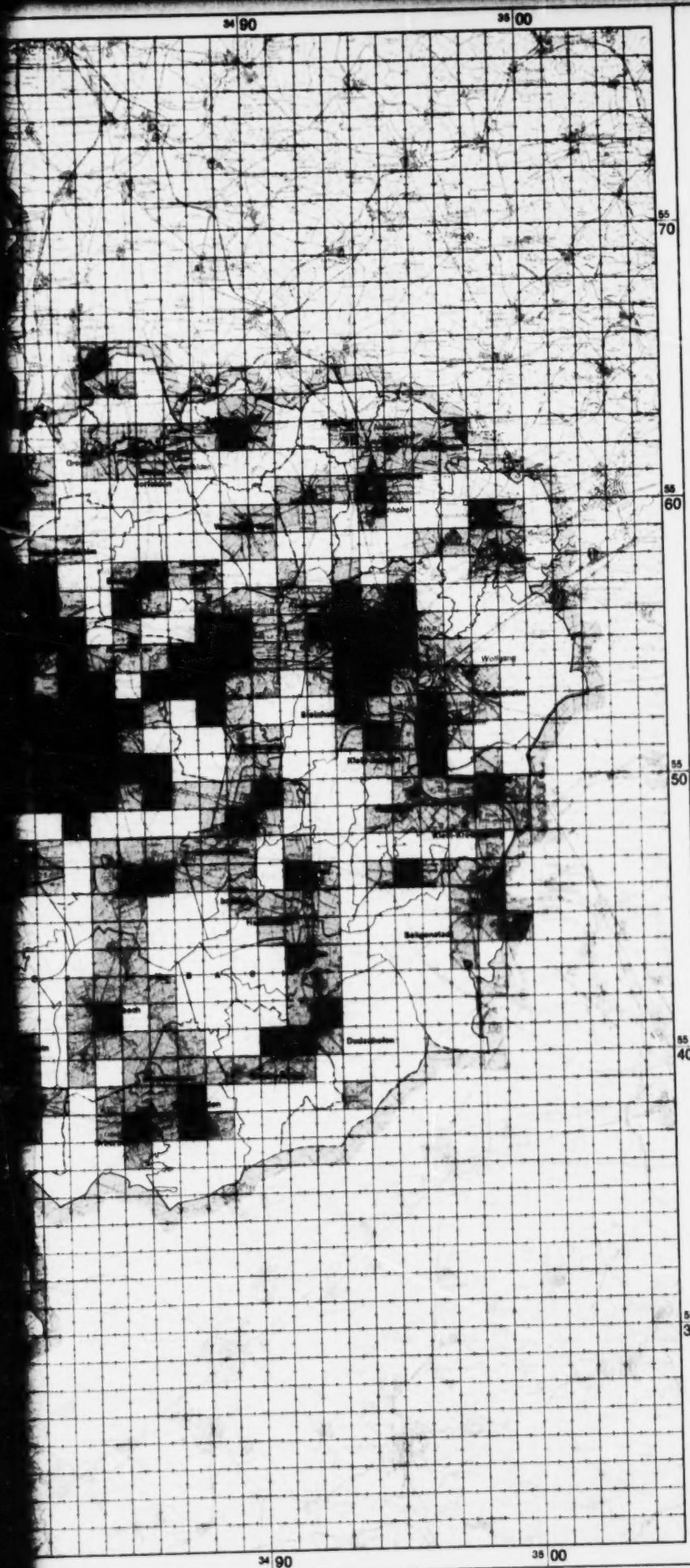
Ortsteilgrenze
Quarter border

4 km²
1

Maßstab, Scale 1 : 200 000

0 2 4 6 8 10 12 km

34 50
34 60
34 70
34 80
55 70
55 60
55 50
55 40
55 30



Karte 5
Map 5

Staub-Emissionen in kg/h im Winter 1970/71 für die Bereiche Industrie und Hausbrand
Dust-emissions in kg/h during winter 1970/71 for the sectors industry and residential combustion

Staub kg/h

- 0–5
- 5–10
- 10–50
- 50–100
- 100–200

Grenze des Untersuchungsgebietes
Border of the investigation area

Landesgrenze
State border

Kreisgrenze
District border

Gemeindegrenze
Community border

Ortsteilgrenze
Quarter border

4 km²
1

Maßstab, Scale 1 : 200 000

0 2 4 6 8 10 12 km

Preceding page blank

3450
3460
3470
3480
5470
5450
5430
5410
DARMSTADT

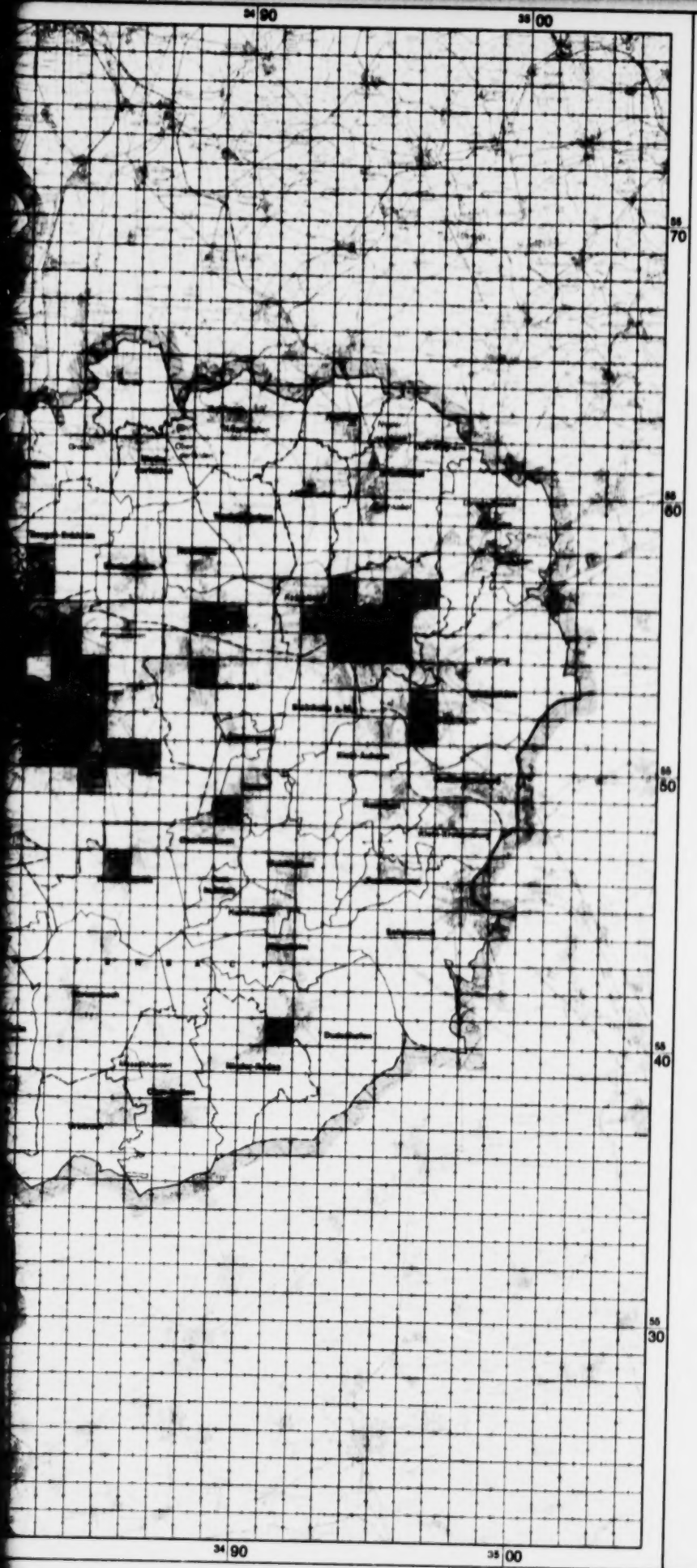


Abb. 6
Fig. 6

CO-Emissionen in kg/h im Winter 1970/71 für die Bereiche Hausbrand und Verkehr
CO-emissions in kg/h during winter 1970/71 for the sectors residential combustion and traffic

CO kg/h

- 1–10
- 10–50
- 50–100
- 100–300
- 300–500

Grenze des Untersuchungsgebietes
Border of the investigation area

Landesgrenze
State border

Kreisgrenze
District border

Gemeindegrenze
Community border

Ortsteilgrenze
Quarter border

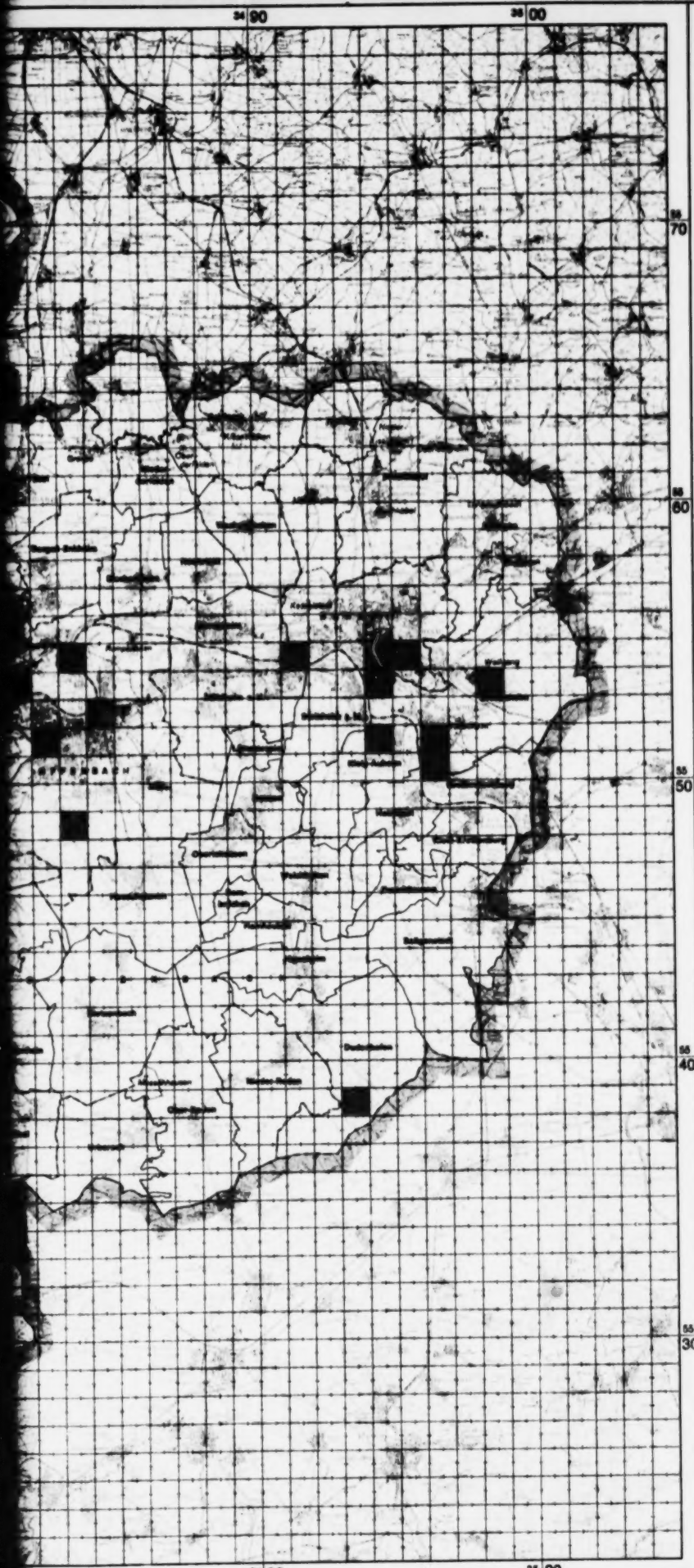
4 km²
1

Maßstab, Scale 1 : 200 000

0 2 4 6 8 10 12 km

Preceding page blank

34 50
34 60
34 70
34 80
35 70
35 60
35 50
35 40
35 30
GROSS-GERAU
DARMSTADT



Karte 7
Map 7

SO_2-Emissionen in 10^3 kg/a
Industrie
SO_2-emissions in 10^3 kg/a
Industry

SO_2 10^3 kg/a

- 0–10
- 10–50
- 50–500
- 500–5000
- 5000–25 000

Grenze des Untersuchungsgebietes
Border of the investigation area

Landesgrenze
State border

Kreisgrenze
District border

Gemeindegrenze
Community border

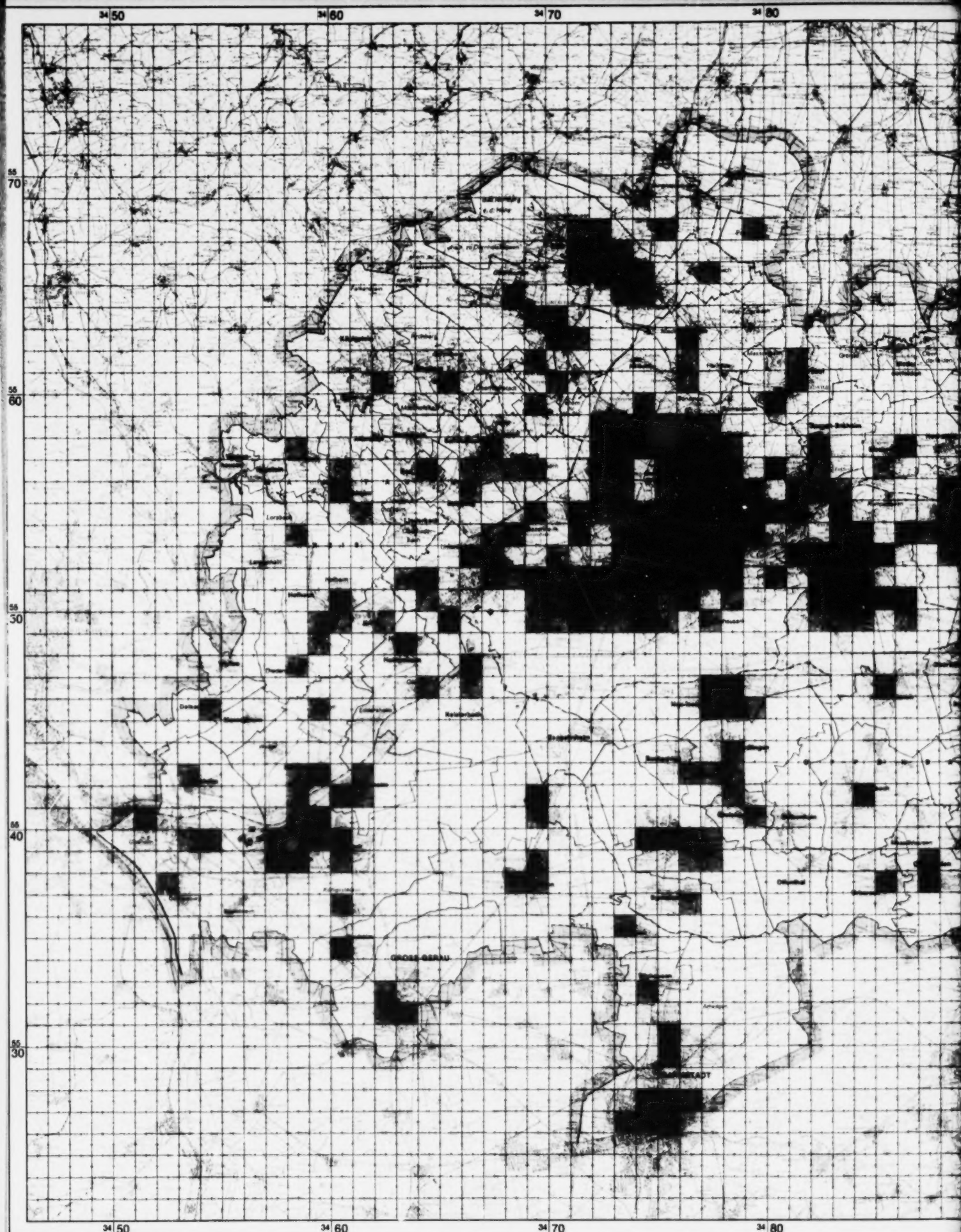
Ortsteilgrenze
Quarter border

4 km²
1

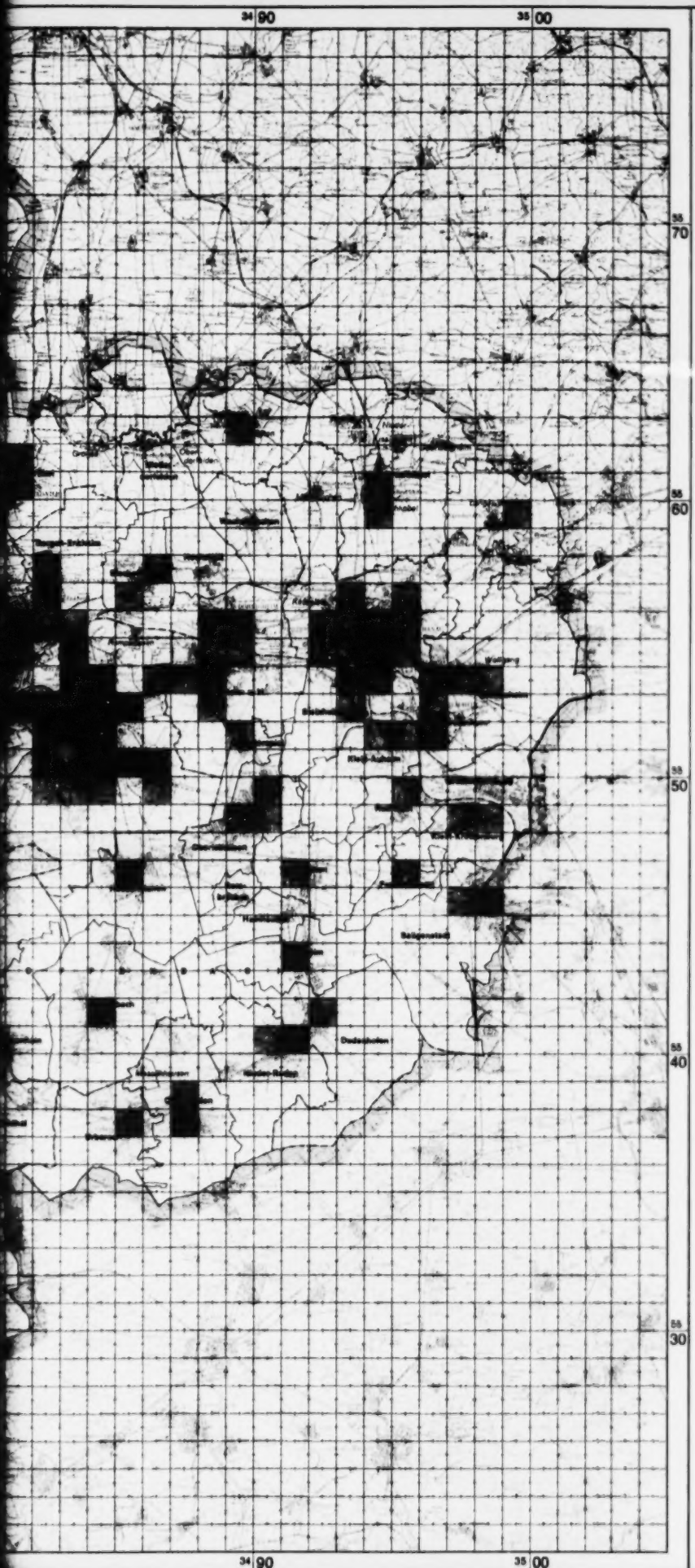
Maßstab, Scale 1 : 200 000

0 2 4 6 8 10 12 km

Preceding page blank



Bearbeitet von der Regionalen Planungsgemeinschaft Untermain



Karte 8
Map 8

SO_2-Emissionen in 10^3 kg/a
Hausbrand
SO_2-emissions in 10^3 kg/a
Residential combustion

SO_2 10^3 kg/a

- 0–1
- 1–25
- 25–50
- 50–100
- 100–400

Grenze des Untersuchungsgebietes
Border of the investigation area

Landesgrenze
State border

Kreisgrenze
District border

Gemeindegrenze
Community border

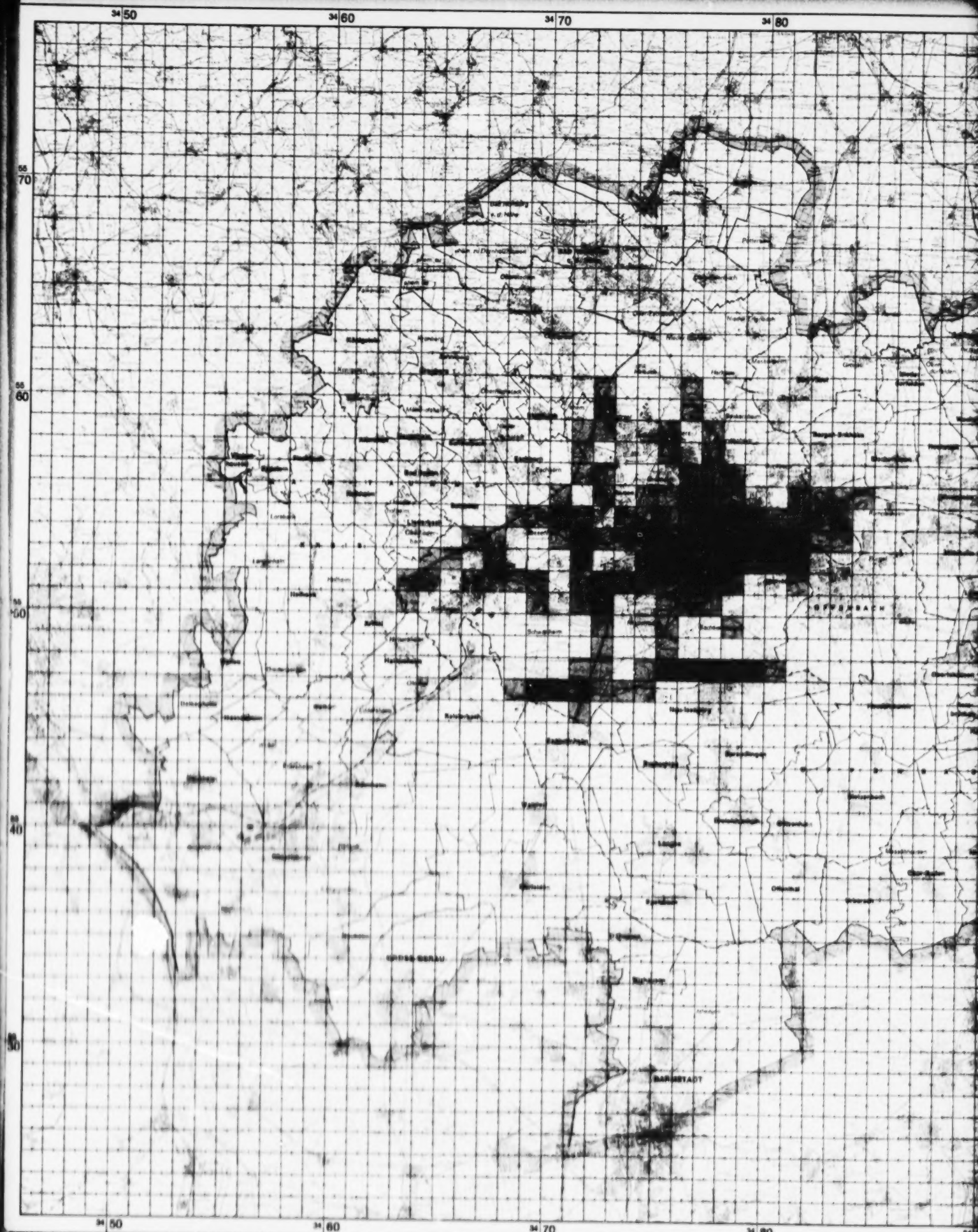
Ortsteilgrenze
Quarter border

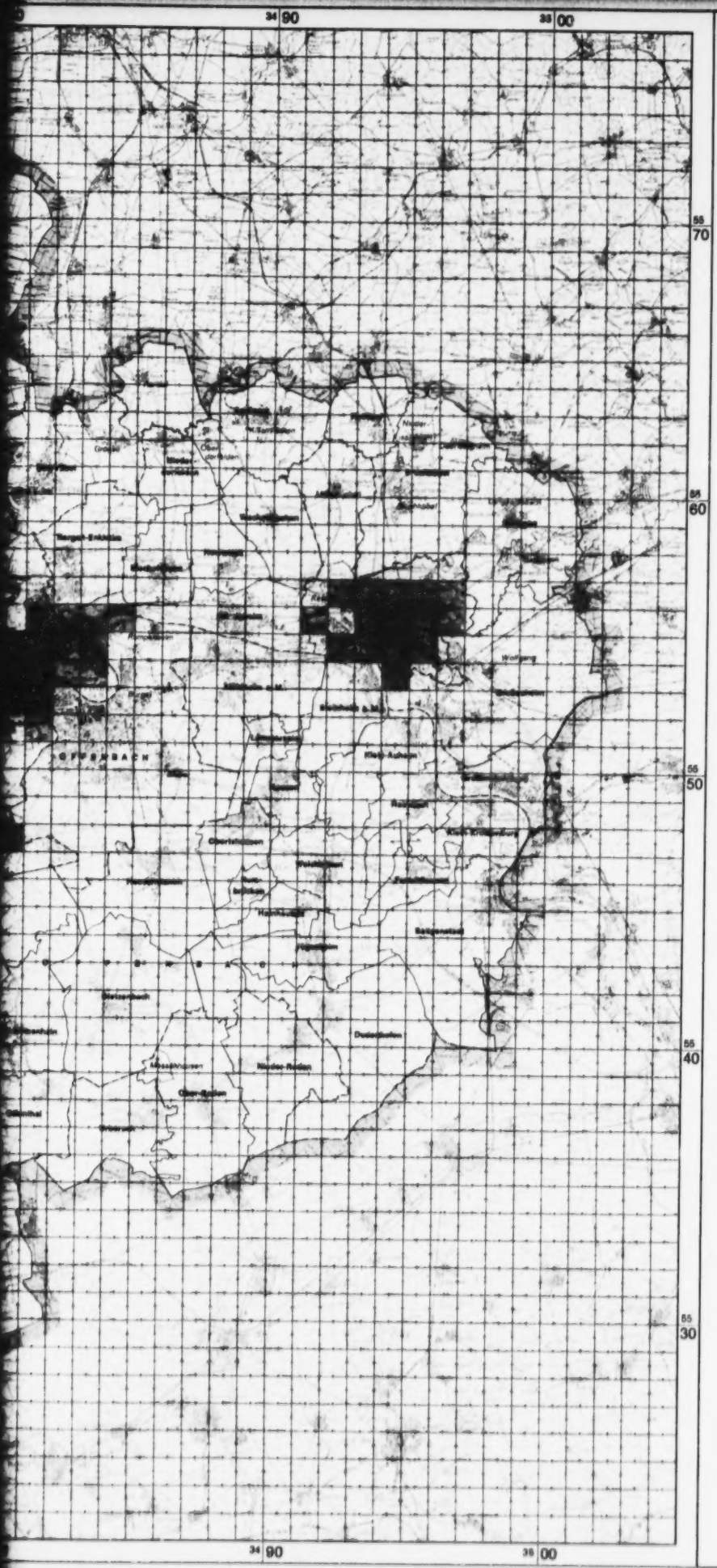
4 km²
1

Maßstab, Scale 1 : 200 000

0 2 4 6 8 10 12 km

Preceding page blank


3450
3460
3470
3480
5570
5560
5550
5540
5530
OFFENBACH
DARMSTADT



Karte 9
Map 9

SO_2-Emissionen in 10^3 kg/a
Verkehr
SO_2-emissions in 10^3 kg/a
Traffic

SO_2 10^3 kg/a

- 0–0,5
- 0,5–1
- 1–5
- 5–10
- über 10

Grenze des Untersuchungsgebietes
Border of the investigation area

Landesgrenze
State border

Kreisgrenze
District border

Gemeindegrenze
Community border

Ortsteilgrenze
Quarter border

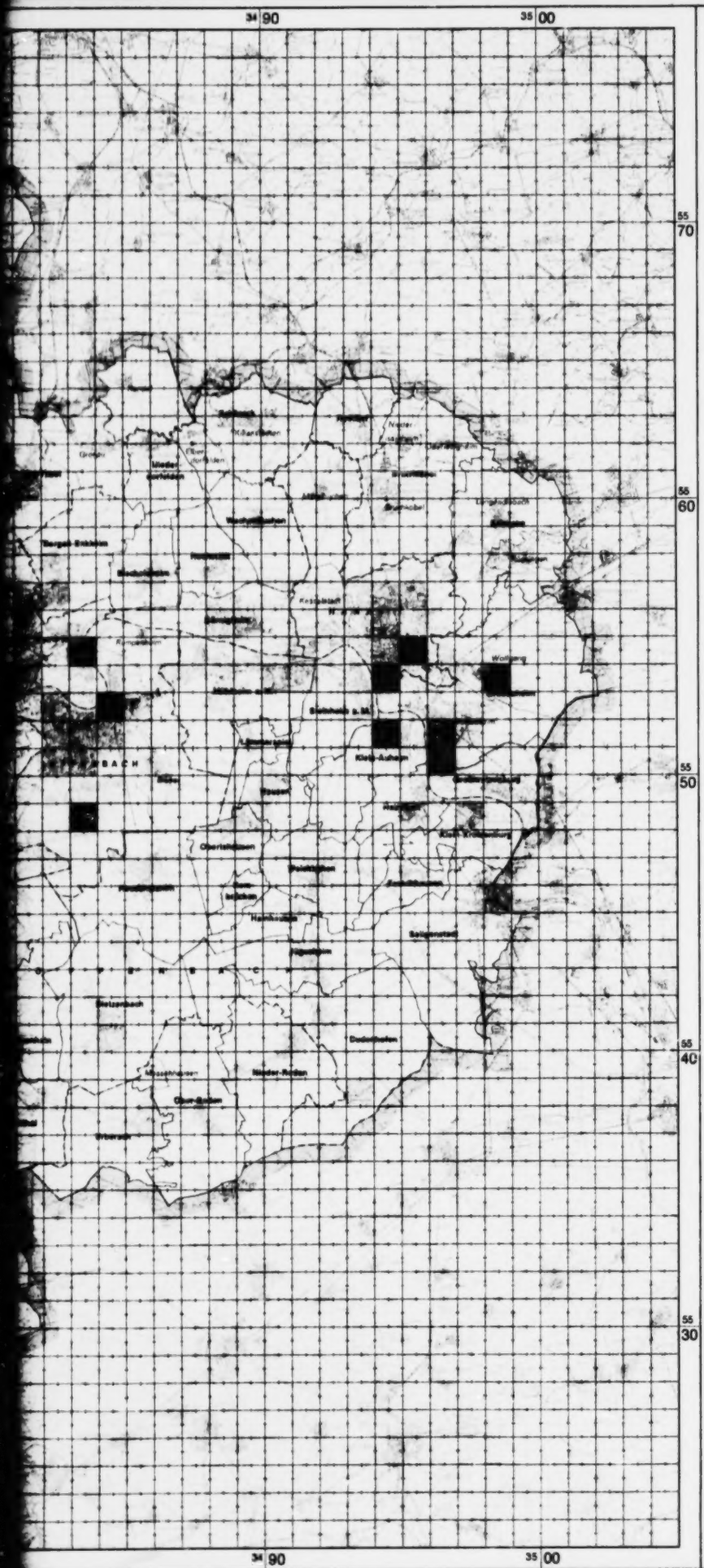
4 km²
1

Maßstab, Scale 1 : 200 000

0 2 4 6 8 10 12 km

Preceding page blank

3450
3460
3470
3480
5570
5560
5550
5540
5530
Bad Homburg v. d. Höhe
Bad Soden
Langenhain
Hofheim
Zeilsheim
Kelsterbach
Walldorf
Mörfelden
GROSS-GERAU
Raunheim
DARMSTADT
Griesheim
Pfungstadt
Eschollbrücken
Seeheim
Jugenheim
Bensheim
Zwingenberg
Lorsch
Lampertheim
Biblis
Alsbach



Karte 10
Map 10

Staub-Emissionen in 10^3 kg/a
Industrie
Dust-emissions in 10^3 kg/a
Industry

Staub 10^3 kg/a

- 0–10
- 10–50
- 50–100
- 100–500
- 500–1000

Grenze des Untersuchungsgebietes
Border of the investigation area

Landesgrenze
State border

Kreisgrenze
District border

Gemeindegrenze
Community border

Ortsteilgrenze
Quarter border

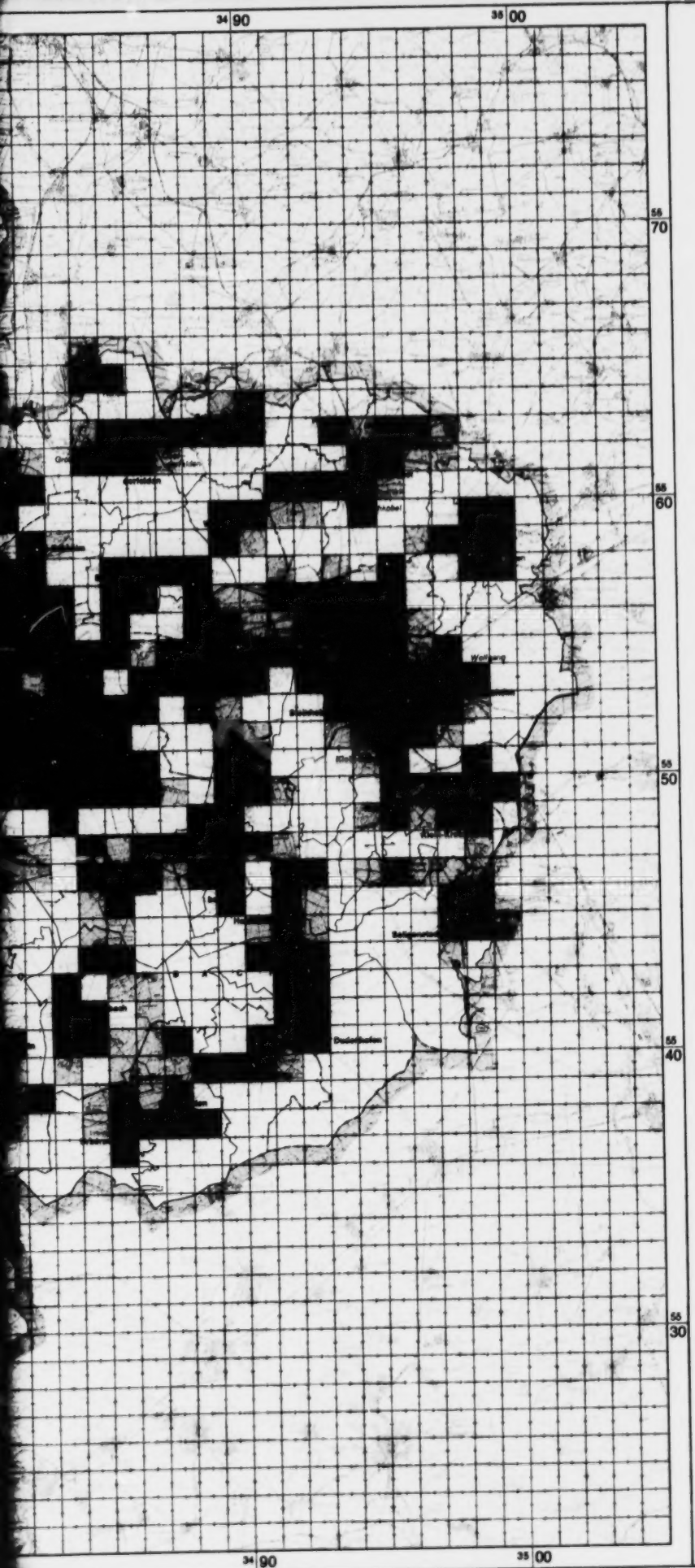
4 km²
1

Maßstab, Scale 1 : 200 000

0 2 4 6 8 10 12 km

Preceding page blank

34 50
34 60
34 70
34 80
55 70
55 60
55 50
55 40
55 30
Bad Homburg v. d. Höhe
Falkenstein
Lorsbach
Kelkheim
Kriftel
Hofheim
Kelsterbach
Raunheim
Kriftel
Kelsterbach
Kelsterbach
Kelsterbach



Karte 11
Map 11

Staub-Emissionen in 10^3 kg/a
Hausbrand
Dust-emissions in 10^3 kg/a
Residential combustion

Staub 10^3 kg/a

- 0–1
- 1–10
- 10–30
- 30–60
- 60–120

Grenze des Untersuchungsgebietes
Border of the investigation area

Landesgrenze
State border

Kreisgrenze
District border

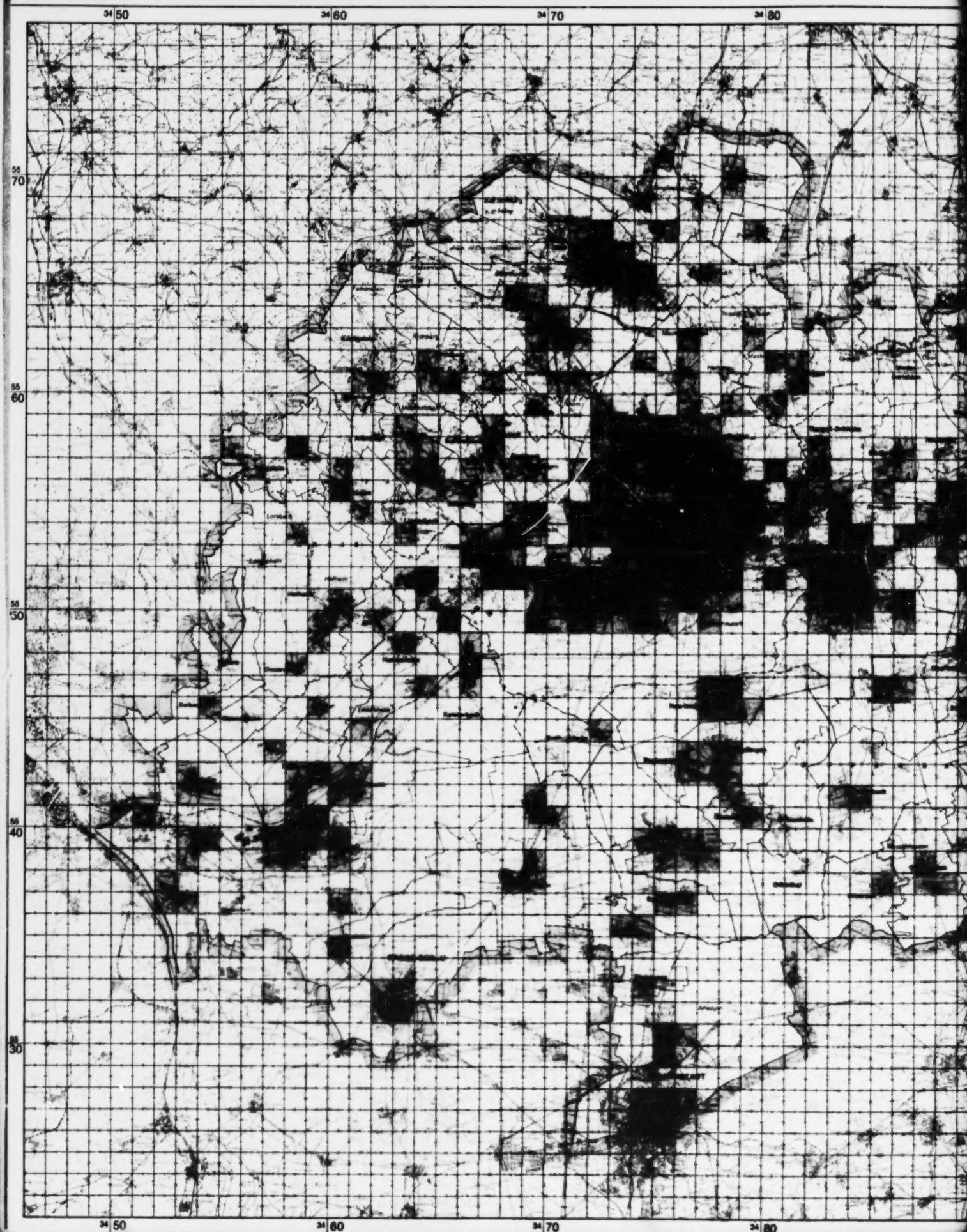
Gemeindegrenze
Community border

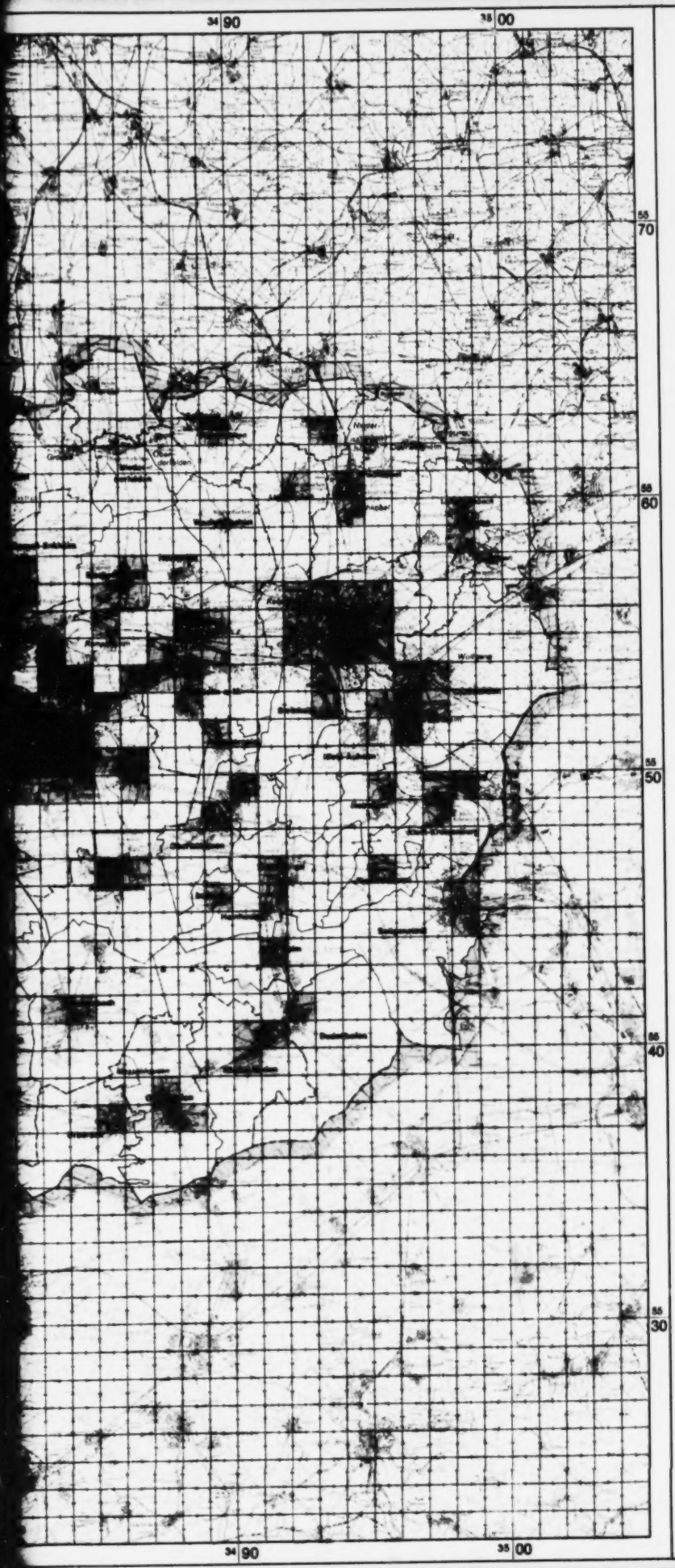
Ortsteilgrenze
Quarter border

4 km²
1

Maßstab, Scale 1 : 200 000

0 2 4 6 8 10 12 km


34 50
34 60
34 70
34 80
55 70
55 60
55 50
55 40
55 30



Karte 12:
Map 12:

CO-Emissionen in 10^3 kg/a
Hausbrand
CO-emissions in 10^3 kg/a
Residential combustion

CO 10^3 kg/a

- 0–10
- 10–30
- 30–100
- 100–300
- 300–750

Grenze des Untersuchungsgebietes
Border of the investigation area

Landesgrenze
State border

Kreisgrenze
District border

Gemeindegrenze
Community border

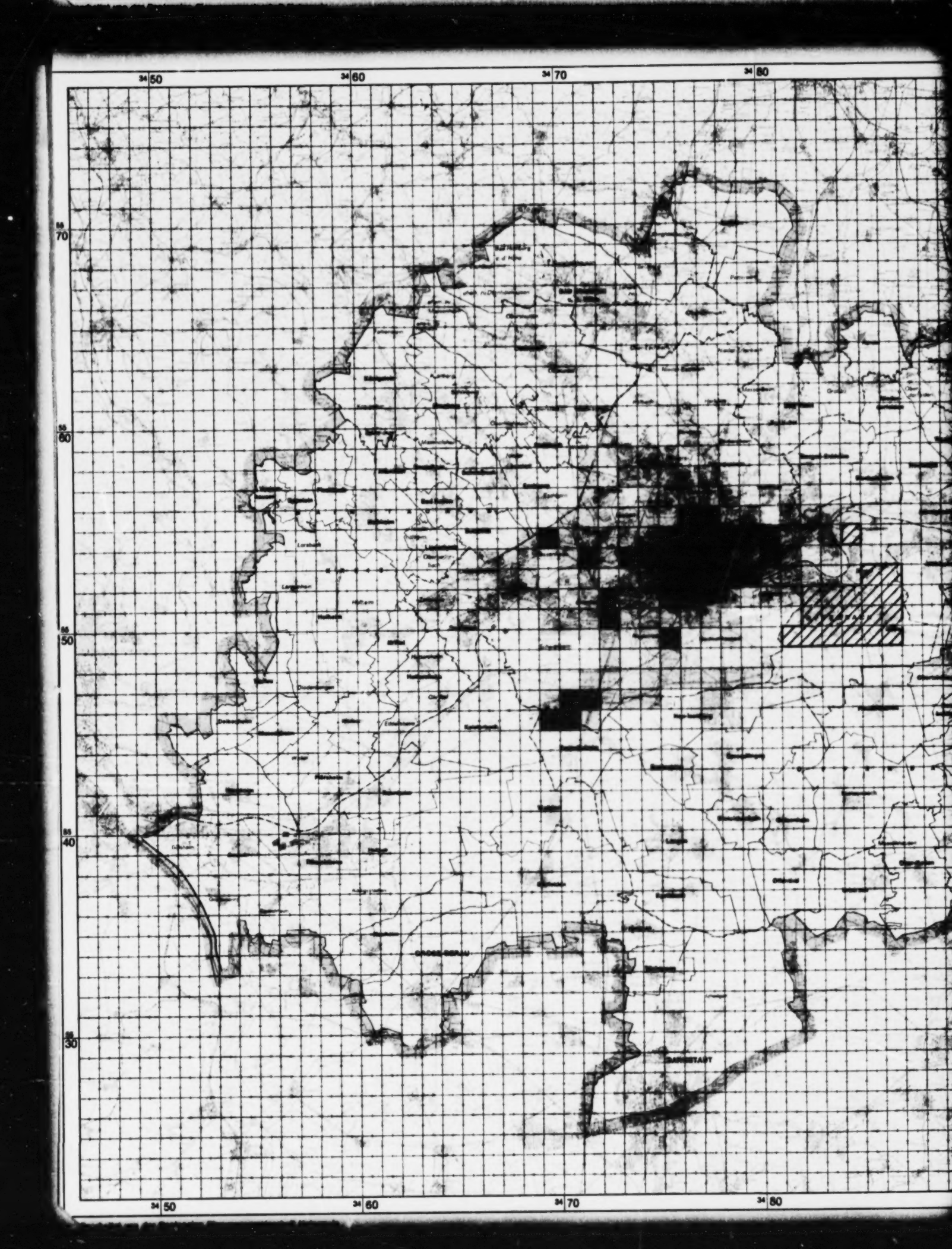
Ortsteilgrenze
Quarter border

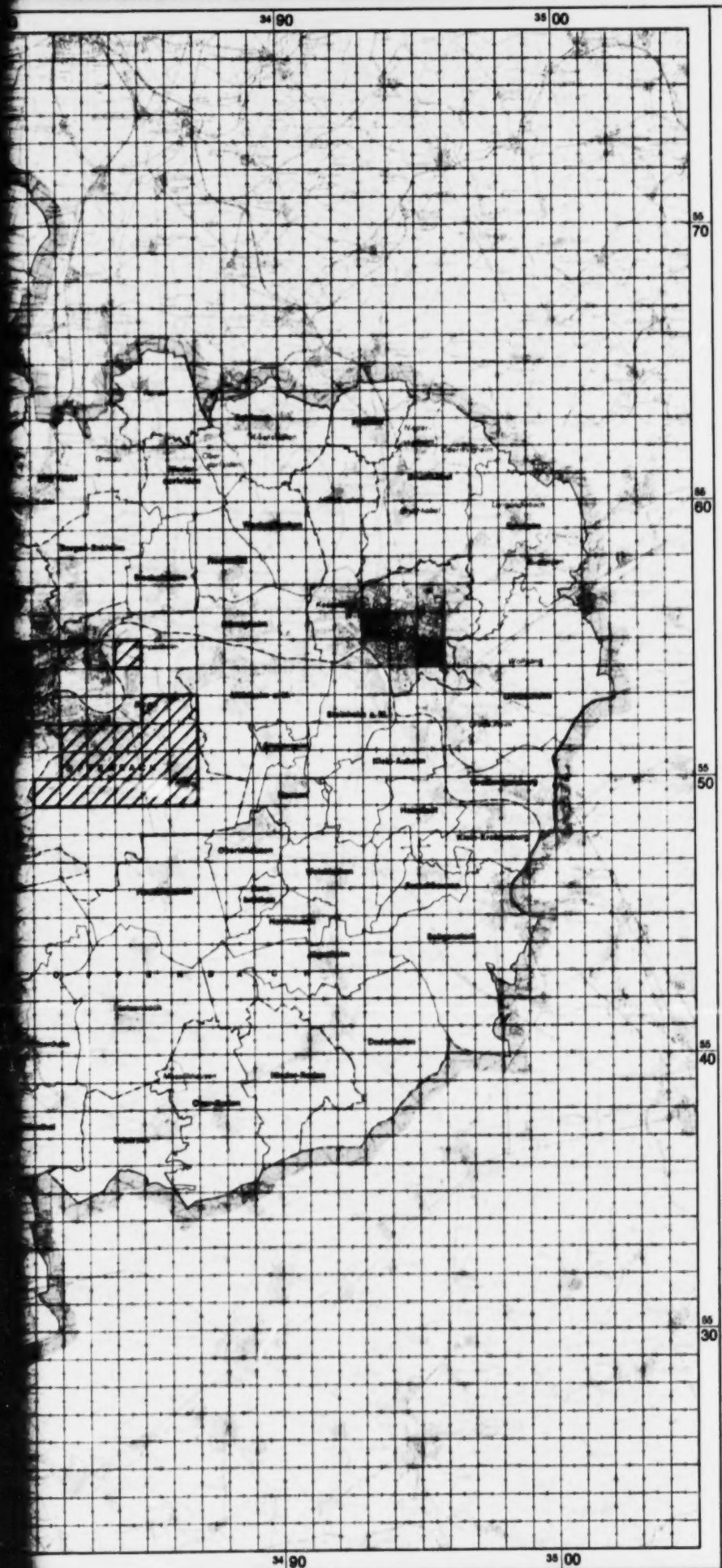
4 km²
1

Maßstab, Scale 1 : 200 000

0 2 4 6 8 10 12 km

Preceding page blank


34 50
34 60
34 70
34 80
55 70
55 60
55 50
55 40
55 30
GROSS-GERAU
DARMSTADT



Karte 13
Map 13

CO-Emissionen in 10^3 kg/a
Verkehr
CO-emissions in 10^3 kg/a
Traffic

CO 10^3 kg/a

- 1–50
- 50–150
- 150–500
- 500–1000
- über 1000
- Untersuchungen nicht abgeschlossen
  Investigation unfinished

- Grenze des Untersuchungsgebietes
  Border of the investigation area
- Landesgrenze
  State border
- Kreisgrenze
  District border
- Gemeindegrenze
  Community border
- Ortsteilgrenze
  Quarter border

4 km²
1

Maßstab, Scale 1 : 200 000

0 2 4 6 8 10 12 km

Preceding page blank

Tab. 12: SO_2-Emissionen nach Wirtschaftsabteilungen in %

Wirtschaftsabteilung	SO_2
Energiewirtschaft und Wasserversorgung	48
Chemie- und Mineralölverarbeitung	36
Stahl-, Maschinen- und Fahrzeugbau	5
Nahrungs- und Genußmittelgewerbe	3
übrige Abteilungen	8

2.3.2. Hausbrand

Im Gegensatz zum Verkehr und abweichend von der Industrie sind die Emissionen des Hausbrandes direkt vom Klima abhängig. Aus diesem Grund kann die Berechnung der Gesamtemissionen auf die Wintermonate beschränkt werden. Für das Untersuchungsahr wurde die Heizperiode vom 1. September 1970 bis zum 31. Mai 1971 (3) mit einer Heizdauer von 1560 Stunden festgelegt. Eine Prozentuierung der Industrieemissionen dagegen ergibt, daß 58 % der SO_2- und 60 % der Staub-Jahresemissionen in der Zeit vom 1. 10. 1970 bis zum 30. 4. 1971 erfolgen.

In der nächsten Tabelle (Tab. 13) wird der Anteil der verschiedenen Brennstoffarten an den Gesamtemissionen angegeben.

Tab. 13: Hausbrand-Emissionen nach verwendeten Brennstoffarten in 10^3 kg/a

Brennstoffart	SO_2	Staub	CO
Steinkohle	2 640,936	2 486,530	6 339,795
Braunkohle	2 861,014	1 537,722	3 650,185
Koks	2 420,858	229,022	21 132,650
Öl	13 424,758	2 257,507	6 916,140
Gas	660,234	32,717	384,230
Gesamt	22 007,800	6 543,498	38 423,000

Die geographische Verteilung der Emissionen ergibt, daß die höchsten Werte in den Stadtvierteln erreicht werden, wo die Bausubstanz relativ alt ist. Hier macht sich die häufige Erscheinung einzelner kleiner Feuerstätten bemerkbar. Für Frankfurt trifft dies besonders für die Stadtteile Bockenheim, Ostend und Bornheim zu. Außerdem werden hohe Werte auch an der Bokkenheimer Landstraße erreicht, die vermutlich auf die große Gebäudekonzentration zurückzuführen ist.

2.3.3. Verkehr

Im Verkehrsbereich stellen die Emissionen des Kfz-Verkehrs die bedeutendste Quelle dar. Hier sei aber erneut darauf hingewiesen, daß nur das Verkehrsaufkommen der Städte Frankfurt und Hanau ermittelt wurde. Aus diesem Grund ist der Vergleich zwischen den Gesamtemissionen der Industrie bzw. des Hausbrandes und den Gesamtemissionen des Verkehrs nicht möglich.

Table 12: SO_2 emissions according to sectors of the economy in %

Sector	SO_2
Energy- and water supply	48
Chemical- and mineral oil processing	36
Steel-, machine- and vehicle building	5
Food industry	3
Other sectors	8

2.3.2. Residential combustion

Unlike the emissions of traffic and of industry domestic fuel emissions are directly dependent on the climate. For this reason the calculation of the overall emissions can be restricted to the winter months. For the year of analysis the period 1 September 1970 to 31 May 1971 was fixed as heating period with a duration of 1560 hours (3). A sub-division in per cent of industrial emissions shows that 58 % of the SO_2- and 60 % of the annual dust-emissions occured during the period 1 October 1970 to 30 April 1971.

The next table (table 13) shows the share of the various types of fuel in the overall emissions.

Table 13: Domestic fuel emissions according to types of fuel used in 10^3 kg/a

Type of fuel	SO_2	Dust	CO
Hard coal	2.640,936	2.486,530	6.339,795
Lignite	2.861,014	1.537,722	3.650,185
Coke	2.420,858	229,022	21.132,650
Oil	13.424,758	2.257,507	6.916,140
Gas	660,234	32,717	384,230
Total	22.007,800	6.543,498	38.423,000

The geographic distribution of the emissions showed that the highest values are reached in those quarters of the town where the buildings are the oldest. The many numbers of small furnaces are showing their effect in this connection. In the case of Frankfurt this is especially true for the quarters of Bockenheim, Ostend and Bornheim. High values are also reached at Bockenheimer Landstraße and this is probably due to the high concentration of buildings.

2.3.3. Traffic

In the traffic sector the motor vehicle traffic is the most important source of emissions. It is pointed out again, however, that only the traffic volume of the towns of Frankfurt and Hanau was ascertained. For this reasons a comparison between the total emissions of industry or domestic fuel and the total emissions of traffic is not possible.

Preceding page blank

Nachfolgend werden die SO_2- und CO-Emissionen wiedergegeben, getrennt nach den einzelnen Sektoren Kfz, Schiffahrt und Flugverkehr (s. Tab. 14).

Tab. 14: Verkehrsemissionen in 10^3 kg/a

Sektor	SO_2	CO
Kfz		
Frankfurt PKW	82,9	52 841,0
Frankfurt LKW	295,7	2 100,3
Hanau PKW	7,0	4 515,8
Hanau LKW	30,5	224,5
Kfz zusammen	416,1	59 681,6
Schiffahrt (Main)	75,7	226,9
Flugverkehr (Rhein-Main)	(unberücks.)	2 692,4
Gesamt	491,8	62 600,9

Daraus ergibt sich, daß der Kfz-Verkehr mit 95,2 % der CO-Emissionen der Hauptemittent des Verkehrs darstellt. Mit großem Abstand folgen der Flugverkehr mit 4,4 % und der Schiffsverkehr mit 0,4 %.

Wenn man bei dieser Datenzusammenstellung auch die Kfz-Emissionen der unberücksichtigten Städte und Gemeinden im Untersuchungsgebiet (z. B. Offenbach, Bad Homburg, Langen, Neu-Isenburg etc.) berücksichtigte, würde sich das Schwergewicht noch mehr auf den Kfz-Verkehr verschieben.

Die Zahl der Starts und Landungen auf dem Rhein-Main-Flughafen für das Jahr 1971 belief sich auf 207 354. Auf acht Flugzeugmuster fielen über 80 % der Gesamtbewegungen (6) (s. Tab. 15).

Tab. 15: Flugzeugbewegungen auf dem Rhein-Main-Flughafen nach Flugzeugmuster

Baumuster	Zahl d. Bewegungen 1972	1971	Anteile in % 1972	1971
Boeing-727	55 855	47 800	26,4	23,1
Boeing-737	35 010	35 831	16,5	17,3
Boeing-707	25 705	27 689	12,1	13,3
Douglas DC-9	20 444	17 269	9,6	8,3
Douglas DC-8/ DC-8/61	13 012	12 189	6,1	5,9
BAC 1-11	11 387	11 916	5,4	5,7
Boeing-747	8 309	5 248	3,9	2,5
Super Caravelle/ Caravelle	6 393	8 402	3,0	4,0
Zusammen	176 115	166 344	83,0	80,1
Sonstige	35 613	41 010	17,0	19,9
Insgesamt	211 728	207 354	100,0	100,0

Die Verkehrsströme in den Städten Frankfurt und Hanau sind in der nachstehenden Tabelle enthalten (s. Tab. 16). Die höhere mittlere Fahrgeschwindigkeit im Frankfurter Bereich ist auf den Autobahnanteil zurückzuführen.

The following table shows the SO_2- and CO-emissions, separate for the sectors motor vehicle traffic, shipping- and air-traffic (table 14).

Table 14: Traffic emissions in 10^3 kg/a

Sector	SO_2	CO
motor vehicles		
Frankfurt, cars	82,9	52.841,0
Frankfurt, lorries	295,7	2.100,3
Hanau, cars	7,0	4.515,8
Hanau, lorries	30,5	224,5
motor vehicles, total	416,1	59.681,6
shipping (Main)	75,7	226,9
air traffic (airport Rhein-Main)	(not cons.)	2.692,4
total	491,8	62.600,9

This shows that the motor vehicle traffic with 95.2 % of CO-emissions is the main emittor of traffic. At a great distance follow the air traffic with 4.4 % and shipping with 0.4 %.

If the motor vehicle emissions of the towns and communities in the area of analysis which have not been taken into consideration (e. g. Offenbach, Bad Homburg, Langen, Neu-Isenburg etc.) would be added to the compiled data the emphasis would further shift to the motor vehicle traffic.

In 1971 207.354 take-offs and landings took place on the Rhein-Main airport. Eight types of aircraft were involved in more than 80 % of the overall movements (6) (table 15).

Table 15: Aircraft movements on the Rhein-Main airport according to types of aircraft

Type	Number of movements 1972	1971	Shares in % 1972	1971
Boeing-727	55,855	47,800	26.4	23.1
Boeing-737	35,010	35,831	16.5	17.3
Boeing-707	25,705	27,689	12.1	13.3
Douglas DC-9	20,444	17,269	9.6	8.3
Dorglas DC-8/ DC-8/61	13,012	12,189	6.1	5.9
BAC 1-11	11,387	11,916	5.4	5.7
Boeing-747	8,309	5,248	3.9	2.5
Caravelle/Super Caravelle	6,393	8,402	3.0	4.0
Total	176,115	166,344	83.0	80.1
Other aircraft	35,613	41,010	17.0	19.9
Total	211,728	207,354	100.0	100.0

Traffic volumes in the towns of Frankfurt and Hanau are shown in the following table (table 16). The higher average speed in the Frankfurt area is due to the motorway share.

Tab. 16: Verkehrsmenge unterteilt nach PKW und LKW in km/Tag

Stadt	Verkehrs-menge/FZ-km	mittlere Fahr-geschw. km/h
Frankfurt		
PKW	6 615 269	
LKW	834 832	
Gesamt	7 450 101	51,2
Hanau		
PKW	5 500 054	
LKW	85 901	
Gesamt	635 955	42,7

Table 16: Traffic volume sub-divided in cars and lorries in km/day

Town	Traffic volume veh-km	Average driving speed km/h
Frankfurt		
cars	6,615,269	
lorries	834,832	
total	7,450,101	51,2
Hanau		
cars	550,054	
lorries	85,901	
total	635,955	42,7

2.4. Literatur

Die in diesem Abschnitt erwähnten Veröffentlichungen sind in Kapitel 7.5. zusammengefaßt.

2.4. Literature

The publications mentioned in this section are combined in chapter 7.5.

H. Markusch, D. Jost, R. S. Kaller, W. Rudolf

3. Luftqualitätsmessungen

3.1. Einführung

Drei Institutionen übernahmen die Aufgabe, im Rahmen der Untersuchung Reihenmessungen über die Luftqualität durchzuführen: das Meteorologische Institut der Universität Frankfurt mit seiner Pilotstation, die Meß- und Prüfstelle für die Gewerbeaufsichtsverwaltung des Landes Hessen und das Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene in Berlin.

Jede Institution hat ihr Programm selbständig durchgeführt, so daß es möglich und sinnvoll ist, angewandte Methoden und Ergebnisse auf den folgenden Seiten getrennt aufzuführen. Die Meßergebnisse der Meß- und Prüfstelle konnten in diesem Bericht aus Termingründen nicht mehr übernommen werden.
In der nachstehenden Karte werden die Meßstationen und die Meßpunkte für meteorologische sowie für luftchemische Komponenten wiedergegeben (siehe Karte 14).

3.2. Luftqualitätsmessungen des Institutes für Meteorologie und Geophysik

3.2.1. Luftqualitätsmessungen der vorhergehenden Jahre

Aus luftchemischen Untersuchungen des Instituts für Meteorologie und Geophysik lagen zu Beginn der lufthygienischen Modellstudie in der Region Untermain bereits grundlegende Ergebnisse von Messungen luftverunreinigender Komponenten im Stadtgebiet von Frankfurt a. M. vor. Mehrjährige Messungen der horizontalen Verteilung der SO_2-Konzentration mittels stichprobenartiger Probenahme (Meß- und Prüfstelle Kassel der Gewerbeaufsicht des Landes Hessen, TA-Luft-Verfahren, ergänzt durch Meßfahrten des Instituts für Meteorologie und Geophysik), hatten gezeigt, daß im langzeitigen Mittel die höchsten SO_2-Konzentrationswerte in der Stadtmitte sowie in den westlichen Bereichen der Stadt auftraten.

Im Jahre 1967 konnten im Rahmen des Gesetzes über Vorsorgemaßnahmen zur Luftreinhaltung der Bundesregierung eine zentrale Meßstation (Meßobjekte: CO_2, SO_2, $NO+NO_2$, CO, Kohlenwasserstoffe, Schwebstaub, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Temperatur, Feuchte, atmosphärischer Druck, Strahlungsbilanz) und zwei Außenstationen (Meßobjekte: CO_2, CO, SO_2) in Betrieb genommen werden. Entsprechend den vorherrschenden Luftströmungen im Stadtgebiet von Frankfurt a. M. befindet sich eine Meßstation im Osten, die Zentralstation im Citybereich und eine Meßstation im Westen der Stadt. Die Zentralstation befindet sich in einem Gebiet mit 94%, die Oststation mit 70% und die Weststation mit rund 62% der mittleren SO_2-Immissionskonzentration des Stadtkerns.

Die aus kontinuierlichen Registrierungen berechneten SO_2-Belastungen erwiesen sich als vergleichbar mit den entsprechenden, aus einem Radiusbereich von

3. Air quality measurements

3.1. Introduction

Three institutes assumed the task of carrying out a series of measurements in the scope of the analysis: the Meteorological Institute of the Frankfurt University with its pilot station, the Monitoring and Testing Agency of the Trade Inspection Office of the Land Hessen and the Institute for Water-, Soil- and Air-Hygienics in Berlin.

Each institute carried out its programme independently and it is therefore possible and useful to show the methods applied and the results achieved separately on the following pages. Due to lack of time it has not been possible to include the results of the Monitoring and Testing Agency in this report.
The map below shows the measuring stations and the measuring points for meteorological and air chemical components (vide map 14).

3.2. Air quality measurements of the Institute for Meteorology and Geophysics

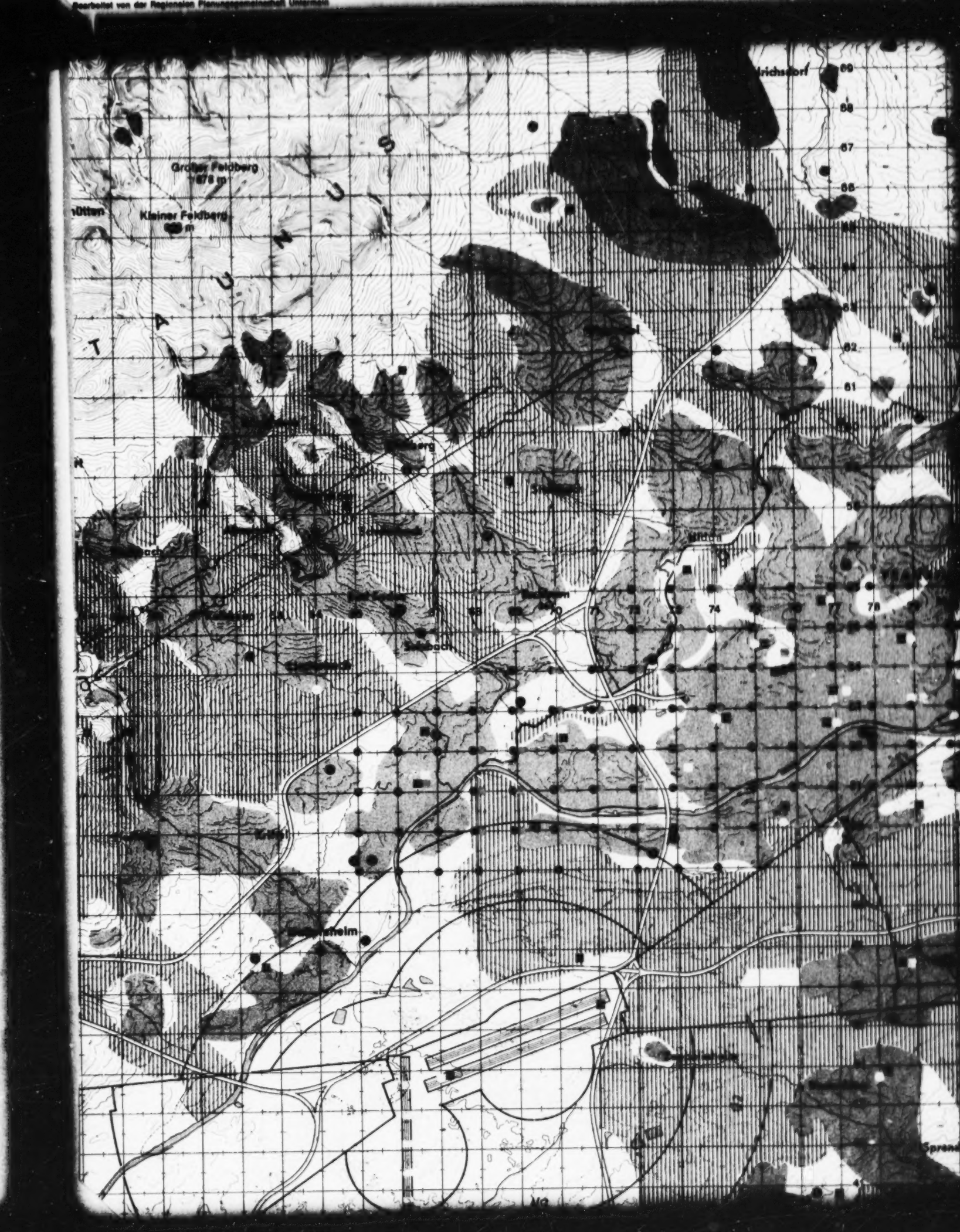
3.2.1. Air quality measurements of the previous years

At the beginning of the model study on air hygienics in the Untermain region basic results obtained from measurements of air-polluting components in the Frankfurt city area were already available from the air-chemical research work of the Institute for Meteorology and Geophysics. Measurements of the horizontal distribution of the SO_2-concentration which had been carried out over several years by sample tests (by the Monitoring and Testing Agency Kassel, an agency of the Trade Inspection Office of the Land Hessen, Technical Air Inspection Division, supplemented by measuring trips carried out by the Institute for Meteorology and Geophysics) showed the highest long-term average SO_2-concentration in the center and the western parts of the city.

In 1967, under the Federal Law on Precautionary Measures for the Prevention of Air-Pollution, one central measuring station (measuring objects: CO_2, SO_2 $NO+NO_2$, CO, hydrocarbons, suspended dust, wind velocity, wind direction, temperature, humidity, atmospheric pressure, radiation balance) and two regional stations (measuring objects: CO_2, CO, SO_2) were put into operation. In line with prevailing air currents in the Frankfurt city area, one measuring station is located east and one west and the central station in the center of the city. The central station is located in an area where the medium SO_2-immission concentration is 94% of that in the city center, in the eastern station it is 70% and in the western station about 62%.

The CO_2-concentrations derived from continuous registrations were comparable with those obtained at a radius of 3 km from the measuring stations. Random

Bearbeitet von der Regionalen Planungsgemeinschaft Untermain



Meßstationen für die Lufthygienisch-meteorologische Modelluntersuchung in der Region Untermain
Measuring stations for the airhygienic meteorological model investigation in the Lower Main Region
Wetterbeobachtungs- u. Klimastation
Weather and climate stations
Klima-Hauptstation
Main climate station
Meßstelle für Wind
Measuring point for wind
Temporäre Klimastation
Temporary climate station
Niederschlagsmeßstelle
Measuring point for rain
Luftchemische Meßstelle (Dauermessung)
Air chemical measuring point (l. time measuring)
Luftchemische Meßstelle (Kurzzeitmessung)
Air chemical measuring point (s. time measuring)
Meßstelle für SO_2 (Kurzzeitmessung)
Measurement point for SO_2 (s. time measuring)
Meßstelle für Staub (Kurzzeitmessung)
Measurement point for dust (s. time measuring)
Standort von Flechtenexpianten
Location for lichen explants
Fesselballonaufstiegsort
Location of captive balloon climbs
Siedlungsfläche, Bestand und geplant
Settling area, as existing and planned
Regionaler Grünzug
Regional green corridor
Autobahn
Anflugsektor und Sicherheitszone (Flughafen Rhein-Main)(Rhein Main Air Port)
Approach flight sector with safety zone
Start- und Landefläche, geplant
Start and landing area, planned
Gewässer
Waters
Höhenlinien
Elevation lines
Bereich der Infrarot-Thermographie
Areas of the infrared thermo-graphy
Karte 14
Map 14
Niederdorfelden
Schöneck
Nidderau
Klein-Krotzenburg
Freischhausen
Seligenstadt

3 km um die Meßstationen erhaltenen Werten. Die Stichprobenmessungen weisen gegenüber kontinuierlichen Messungen einen Informationsverlust auf, da sie keine Angaben über Tagesgang, Einfluß von Emittentengruppen und meteorologischen Parametern liefern.

tests lose some of the information value compared with continuous measurements since they do not show any data on fluctuations during the day as well as the influence of pollution emitting groups and meteorological parameters.

Sowohl SO_2 als auch CO zeigen im Stadtgebiet von Frankfurt a. M. deutlich ausgeprägte, tageszeitliche und jahreszeitliche Schwankungen, die sowohl durch Schwankungen meteorologischer Einflußgrößen (z. B. intensiver Vertikalaustausch im Sommer und tagsüber) als auch durch Änderungen der Emissionsstärke (z. B. Hausbrand, Verkehrsaufkommen) verursacht sind. Die Zufuhr frischer Luft und somit die Verminderung der Konzentration luftverunreinigender Stoffe hängt stark von den Strömungshindernissen (Bebauung) ab, die eine Belüftung bei geringer Windgeschwindigkeit verhindern. Die Grenzwindgeschwindigkeit, ab der eine deutliche Entmischung akkumulierter Luftverunreinigung eintritt, beträgt in dicht umbauten Straßen 2 bis 3 m/sec (Meßstelle für CO, Frankfurt a. M., Karlstraße).

Both SO_2 and CO are distinctly fluctuating in the Frankfurt city area depending on the time of the day and on the season, a fact which is due to the influence of meteorological fluctuations (such as intensive vertical air exchange during the summer and in daytime) as well as changes in the emission intensity (caused for instance by heating fuels or traffic). Fresh air supply and thus the reduction of the concentration of air-polluting agents depends strongly on air current obstacles (buildings), which prevent the air supply at times of low wind velocity. The lowest wind velocity in densely built-up streets which is required to dissolve accumulated pollution is 2 to 3 m/sec (CO measuring station, Frankfurt, Karlstraße).

In Gebieten mit aufgelockerter Bauweise wird der Einfluß der Windgeschwindigkeit auf die Konzentration von Luftverunreinigungen schon ab der Ansprechgeschwindigkeit der Anemometer (1,0 m/sec) wirksam. In dicht bebauten Straßen bildet sich ein Leewirbel aus, der im Lee der Gebäude noch bei hoher Windgeschwindigkeit erhöhte CO-Konzentrationen auftreten läßt. Die großräumige Orografie führt im Stadtgebiet von Frankfurt a. M. bevorzugt zu Winden aus SW und NNE, dagegen führen während der häufigen windschwachen Wetterlagen die kleinräumige Orografie und die städtische Bebauung zu deutlichen Abweichungen von der großräumigen Luftbewegung. Während windschwacher, austauscharmer Wetterlagen treten bevorzugt im Zentrum der Stadt und im westlichen Teil der Stadt erhöhte SO_2-Konzentrationen, Überschreitungen des Grenzwertes von 750 μg SO_2/m^3, auf. Niederschläge im Anschluß an austauscharmes Wetter tragen wesentlich zur Reinigung der Atmosphäre bei. Eine weitere Selbstreinigung der Atmosphäre erfolgt durch Anlagerung von Luftverunreinigungen am Boden und an Strömungshindernissen sowie durch chemische Reaktionen in der Atmosphäre. Messungen der relativen Konzentrationsänderungen des CO_2 (hier als Inertgas) und des SO_2 (reaktionsfähiges Gas) ergeben eine Verweildauer des SO_2 in einer stark verunreinigten Atmosphäre von 20 min. bis 1 h.

In less densely built-up areas the wind affects the concentration of pollution already at a velocity of 1.0 m/sec., i. e. the starting velocity shown on anemometers. In densely built-up streets a leeward angle forms which permits high CO-concentrations even at high wind velocity at the leeward side of the buildings. Due to long-distance orographic conditions winds in the Frankfurt city area come primarily from a SW and NNE direction while short-range orography and urban construction often cause variations from long-distance air currents during the frequent calm weather periods. During these periods of low winds with little air exchange SO_2-concentrations increase and the limit of 750 μg SO_2/m^3 is often exceeded especially in the center and the western part of the city. Precipitations following periods of little air exchange contribute considerably to clear the atmosphere. Further causes of atmospheric self-clearance are the gathering of air pollution on the soil and air current obstacles as well as chemical reactions in the atmosphere. Measurements of relative changes in the concentrations of CO_2 (as inert gas) and SO_2 (reaction gas) showed that SO_2 remains in a strongly polluted atmosphere between 20 minutes to one hour.

Umfangreiche Messungen meteorologischer Parameter und der Konzentrationen von Luftverunreinigungen machten den Einsatz eines Prozeßrechners notwendig, der sowohl Meßdaten plausibel auf Richtigkeit prüft als auch eine erste Auswertung, Aufbereitung und Speicherung der Daten übernimmt und außerdem eine automatische Eichung und Kontrolle der Meßgeräte im gesamten ausbaufähigen Meßnetz vornimmt.

Extensive measurements of meteorological parameters and pollution concentrations required the use of a process computer which not only examines plausibly the correctness of the measurements data but also provides for an initial scoring, editing and storage of data, as well as for the automatic calibration and control of the measuring equipment in the entire developable network.

Im Rahmen der lufthygienischen Modellstudie in der Region Untermain wurde das Meßnetz um einen Ring mit 4 SO_2-Meßstellen um das Stadtgebiet in der ländlichen Umgebung ergänzt.

Within the scope of the model study on air hygienics in the Untermain region the measuring network has been supplemented by a ring of 4 SO_2 measuring stations in the rural surroundings of the city area.

Preceding page blank

3.2.2. Das Meßnetz

3.2.2.1. Beschreibung der Meßstellen

Die zentrale Meßstation wurde Ende 1966 in einem Wohngebiet, einen Kilometer vom Stadtkern entfernt, im Institut für Meteorologie und Geophysik eingerichtet. Die östliche Meßstelle (2 km von Stadtmitte) und die westliche Meßstelle (4 km vom Zentrum) hatten 3,5 km Abstand von der Zentralstation. Die Lage der Stationen entspricht den Meßergebnissen aus den Jahren 1960 bis 1962, 1963 bis 1965 sowie den Messungen nach TAL Oktober 1967 bis Oktober 1968.

Die Erweiterung der Aufgaben der Probemeßstation Frankfurt im Forschungsauftrag „Zentrale Meßdatenverarbeitung zu Immissionskenngrößen mittels automatischer Eich- und Kontrollwarte" machte eine Verlegung der Oststation nach Offenbach und der Weststation nach Frankfurt-Nied im Frühsommer 1971 erforderlich. Außerdem wurden in Nieder-Erlenbach (nördlich Stadtzentrum Frankfurt), Neu-Isenburg (südlich) und in Hattersheim (südwestlich) je eine SO_2-Meßstelle eingerichtet und ein bei Groß-Krotzenburg (südöstlich) bestehender SO_2-Analysator angeschlossen.

Diese vier neuen Meßstellen sollen die Luftverunreinigung im Luv und im Lee der Stadt sowie den Beitrag kleinerer Gemeinden und industrieller Bezirke erfassen.

Die Meßstationen City – Rathenauplatz und City – Rundschauhaus dienen der Bestimmung der Immissionsbelastung durch Kfz.-Abgase. Im Gegensatz zur Zentralstation, die in einer Villen- und Bürogegend mit nur mäßiger Verkehrsbelastung liegt, wurden die City-Stationen in der Nähe von Verkehrsknotenpunkten mit hoher Verkehrsdichte errichtet. Die Probenahmestellen sind 20 bis 40 Meter von der nächsten Kreuzung entfernt in den Straßenzug zurückverlegt und liegen in Gebieten mit geschlossener Bauweise und einheitlicher Bebauungshöhe. Die Ansaugstellen sind 3 bis 5 Meter über Straßengrund angebracht. Zur Zeit werden CO, CnHm, NO_x und Ozon gemessen.

Die Auswahl der Meßstellen ermöglicht die Abschätzung der Maximalkonzentrationen, die im Citybereich durch den Kfz.-Verkehr verursacht werden. Die zeitlich und örtlich nicht repräsentativen Spitzenkonzentrationen in unmittelbarer Nähe des Ampelstaus gehen nicht in die Messung ein. Durch die oben erwähnte Mehrkomponentenmessung ist die Möglichkeit gegeben, festzustellen, inwieweit eine Komponente im Kraftfahrzeugabgas (z. B. CO) als Tracer für die ebenfalls emittierten Kohlenwasserstoffe und nitrosen Gase benutzt werden kann. Die Messung der Ozonkonzentrationen in Verbindung mit den ermittelten CnHm- und NO_x-Konzentrationen dient der Untersuchung der photo-chemischen Smogbildung durch Kfz.-Abgase.

Lagepläne zu den zur Zeit betriebenen Meßstellen sind aus der Karte 14 ersichtlich.

3.2.2. The measuring net

3.2.2.1. Description of the measuring stations

The central measuring station was installed in a residential area at a distance of one kilometer from the city center, at the Institute for Meteorology and Geophysics at the end of 1966. The eastern measuring station (2 km from the center) and the western measuring station (4 km from the center) were located at a distance of 3.5 km from the central station. The location of the stations was chosen as a result of measurements carried out in 1960–1962, 1963–1965 and the TAL measurements from October 1967 to October 1968.

When the terms of reference of the test measuring station in Frankfurt were extended within the framwork of the research task "Central data processing to obtain immission characteristics by means of automatic calibration- and control-station" the eastern station had to be transferred to Offenbach and the western station to Frankfurt-Nied in the early summer of 1971. Moreover, one SO_2 measuring station each was installed at Nieder-Erlenbach (north of the center of Frankfurt), Neu-Isenburg (south) and Hattersheim (southwest), and an existing SO_2 analyser near Groß-Krotzenburg (south-east) was connected.

These four new measuring stations are to analyse air pollution at the leeward and windward side of the city, and the contribution of small communities and industrial districts.

The stations City-Rathenauplatz and City-Rundschauhaus are designed to measure the immission caused by motor vehicle exhaust gas. Unlike the central station which is located in a residential and office district with moderate traffic the city stations were established in the neighbourhood of traffic centers with great traffic density. The sample stations are located in a street at a distance of 20–40 meters from the next crossing in a fully built-up area with buildings of equal height. The intake points are installed 3–5 m above the street. At present CO, CnHm, NO_x and ozone are measured.

The selected location of the measuring stations permits an estimate of the maximum concentration caused by motor vehicle traffic within the city. Peak concentrations in the immediate vicinity of traffic lights which are not representative of the average in terms of time and location are not included in the measurements. The multi-components measurement mentioned above makes it possible to ascertain to what extent one component of motor vehicle exhaust gas (for instance CO) can be used as a tracer for hydrocarbons and nitrogas, which are also emitted. The measurement of ozone concentrations in connection with the CnHm- and NO_x-concentrations found are used to examine the photo-chemical smog formation caused by motor vehicle exhaust gas.

Layout plans of the measuring stations in operation may be seen in map 14.

Bearbeitet von der Regionalen Planungsgemeinschaft Untermain

3.2.2.2. Geräte und Analysenmethoden

Bei der Errichtung von Meßstellen ist Ad- und Desorption von Gasen an den Leitungswandungen zu vermeiden. Hierzu ergaben eingehende Versuche mit SO_2- und NO_x-Prüfgasen, daß bei den verwendeten Schlauchmaterialien (Glas, Teflon, Viton) Strömungsgeschwindigkeiten von 150 cm/sec ausreichen, wenn die Leitungslänge 20 m nicht überschreitet. Die Ansaugstelle darf nicht näher als 1 m zur nächsten Wand liegen. Für langzeitige, repräsentative Untersuchungen sollten Probenahmehöhen von 5 bis 15 m eingehalten werden. Die Probenahmehöhe für die durch Kraftfahrzeuge bedingten Immissionen ist gesondert festzusetzen.

Weiterhin muß bei der Wahl der Probenahmestelle die nähere Umgebung bzw. die Lage der Meßstelle zu Kleinemittenten im Umkreis von etwa 50 m berücksichtigt werden. Ist eine geringe Distanz zwischen Probenahmestelle und dem nächsten Emittenten nicht zu vermeiden, sollte dieser Emittent im Minimum der Windrichtungshäufigkeit bezogen auf die Probenahmestelle liegen. Aufgrund vorliegender Erfahrungen können Beaufschlagungen der Meßstelle durch Nahemittenten, die im Mittel zu unrepräsentativen Immissionskonzentrationen führen, aus den Analogregistrierungen erkannt werden. Zum Beispiel mußten von 1967 bis 1968 an der Weststation 6,9 %, an der Oststation 3,5 % der Halbstundenmittelwerte wegen der Einwirkung von Nahemittenten verworfen werden. Nach der Verlegung der Meßstellen traten diese Störungen in weniger als 1 % aller Fälle auf.

SO_2-Analysatoren (Picoflux)

Die SO_2-Konzentration der Luft wird an der Zentralstation sowie an den Meßstellen Ost, Südost und West nach dem Leitfähigkeitsprinzip mit Analysatoren der Firma Hartmann & Braun, Typ Picoflux L gemessen (VDI 2451).

Die Meßstellen Nieder-Erlenbach (N), Neu-Isenburg (S) und Hattersheim (SW) sind mit Analysatoren der Firma Philips, Typ PW 9700, die nach einem Coulombmetrischen Prinzip arbeiten, ausgerüstet.

Bereich, 90 %-Zeit, Genauigkeit

Die SO_2-Picofluxanalysatoren sind mit drei Meßbereichen ausgestattet: 0 bis 0,5 ppm, 0 bis 1,0 ppm und 0 bis 2,0 ppm. Die Messung erfolgt normalerweise in dem empfindlichsten Meßbereich von 0 bis 0,5 ppm.

Bei Bereichsüberschreitung schaltet der Schreiber in den Bereich 0 bis 1,0 ppm um. Der Rechner verarbeitet Werte bis 1 ppm.

Als 90 %-Zeit wurde bei vorgeschaltetem Selektivfilter und angeschlossenen Leitungen etwa 15 sec ermittelt. Die Reproduzierbarkeit der Meßwerte ist unter Einbezug der Meßwertdrift kleiner als 2 % des Meßwertendbereiches.

Störeinflüsse, Drift, Querempfindlichkeit

Das Gerät ist durch eine Stabilisierung der Brückenspannung in der Registriereinheit gegen Netzspannungsschwankungen von ± 10 % unempfindlich. Al-

3.2.2.2. Appliances and methods of analysis

When installing measuring stations gas adsorption and desorption at the inside line coating should be prevented. Thorough tests with SO_2- and NO_x-test gas showed that with the tube material in use (glass, Teflon, Viton) a current velocity of 150 cm/sec. would be sufficient if the line is not longer than 20 m. The intake point should not be closer than 1 m to the next wall. Sampling heights of 5 to 15 m should be adopted for long-term representative tests. The sampling height for motor vehicle immissions has to be established separately.

Moreover, when a sampling point is selected it should be borne in mind that the measuring point ought to be installed at a distance of about 50 m from minor pollution emittors. If a smaller distance between the sampling point and the nearest emittor cannot be avoided, the station should be installed at a point where the wind blowing from the direction of the emittor is the least frequent. Experience has shown that higher pollution rates caused by close emittors, which lead to unrepresentative average concentrations, can be detected by way of analog registrations. In 1967–1968 for instance, 6.9 % of the average half-hour data at the western station and 3.5 % of the data at the eastern station had to be rejected because of the influence of close pollution sources. After the relocation of the measuring stations this interference was reduced to less than 1 % of all cases.

SO_2-analysers (Picoflux)

The SO_2-concentration in the air is measured in the central station and the eastern, south-eastern and western stations according to the conductivity principle with type Picoflux L analysers, manufactured by the firm of Hartmann & Braun (VDI 2451).

The measuring stations Nieder-Erlenbach (N), Neu-Isenburg (S) and Hattersheim (SW) are equipped with analysers type PW 9700 manufactured by Philips, which are working according to Coulomb's metric principle.

Measurement range, 90 % period, accuracy

The SO_2-Picoflux analysers are operating with three measurement ranges: 0 – 0.5 ppm, 0 – 1.0 ppm and 0 – 2.0 ppm. Measurements are normally carried out in the most sensitive range of 0 — 0.5 ppm.

If the range is exceeded, the recorder switches over to range 0 — 1.0 ppm. The computer processes data up to 1 ppm.

With selective filter fitted and circuits connected the 90 % time was found to be about 15 secs.
Taking into account the data drift the reproductivity of data items is less than 2 % of the reading limit.

Interference, drift and transverse sensitivity

By stabilizing the bridge voltage in the recorder, the instrument becomes insensitive to line-voltage variations of ± 10 %. Algae attacks and dust deposits re-

genbefall und Staubansatz vermindern den Durchsatz von Lösung und Meßluft, was zu Meßwertschwankungen führen kann. Algenbildung kann durch eine Erhöhung der H_2O_2-Konzentration in der Lösung auf 5 ml Perhydrol/10 l verhindert werden. Durch Vorschaltung von lockeren Quarzglaswattefiltern können erhebliche Staubmengen zurückgehalten werden. Die Quarzwatte wird wöchentlich gewechselt.

Die wöchentliche Drift der drei eingesetzten SO_2-Geräte beträgt im Mittel 0,4 ppb bei einer Streuung der Einzelwerte um etwa ± 1 ppb.

Die Querempfindlichkeiten gegenüber Chlor, Stickstoffoxid, Ozon und Ammoniak werden durch ein Filter aus auf Bimsstein getrockneter Kaliumbisulfatlösung (5 bis 20 % KH SO_4) und gesättigter Silbersulfatlösung ausgeschaltet (99,8 % des angebotenen SO_2 passieren das Filter). Dieses Filter wird alle 14 Tage erneuert. Es bestehen Querempfindlichkeiten gegenüber Wasserdampf und CO_2, die durch Vorfilter nicht auszuschalten sind. Nach Angabe des Herstellers wurden die Arbeitspunkte des Geräts an so günstige Stellen der Kennlinie gelegt, daß sich für CO_2- und Feuchte-Konzentrationen in der Nähe der Jahresmittelwerte die Abweichungen kompensieren.

Kalibrierung

Die Empfindlichkeit der Picoflux L - Analysatoren bleibt entsprechend den Erfahrungen der Vorjahre mindestens ein halbes Jahr innerhalb der Garantiefehlergrenzen (± 2,5 % des Meßwertes) und die Meßunsicherheit wird im wesentlichen von der Nullpunktsänderung bestimmt. Diese Nullpunktsänderung wird bei der 23stündigen vom Prozeßrechner angesteuerten Kalibrierung kompensiert. Das Nullfilter wird über 2 Magnetventile (V 2 A, Teflon) zwischen Vorfilter und Meßlufteingang geschaltet. In Stellung Messen ist das Filter durch die Ventile (stromlos) abgeschlossen. Dies bewirkt, daß eine gleichmäßigere Feuchte im Filter erhalten bleibt und nicht bis zur nächsten Kalibrierung sich der trockeneren Raumluft angleicht. Der obere Sollwert wird (Ventile in Stellung Nullgas) statisch durch einen diese Anzeige bewirkenden Eichwiderstand erzeugt. Die wesentlich aufwendigere dynamische Kalibrierung der Empfindlichkeit wird nur im Bedarfsfall etwa halbjährlich mit einer Dosiereinrichtung (Wösthoff) vorgenommen.

Wartung

Bei der wöchentlichen Wartung (Nachfüllen der Reaktionslösung) ist auf Verschmutzungen der Reaktionsspirale und des Auffangfilters zu achten, und gegebenenfalls eine Teilreinigung der Meßzelle (mit RBS 25) vorzunehmen. Im Lösungsablauf können Behinderungen des Durchsatzes durch Luftblasen auftreten, die sich leicht ohne Störung des Gerätes entfernen lassen. Die Kontrolle des elektrischen Eichpunktes kann nur einen Hinweis auf Störungen der elektronischen Einheit geben. Andere Störungen sind aus der Analogregistrierung zu erkennen.

Ausfallzeiten

Alle 23 Stunden fällt während der Kalibrierung ein Halbstundenmittelwert aus, dazu geht beim Nachfüllen von Reaktionslösung ein Halbstundenmittelwert

duce the throughput of solutions and test air and this may result in reading fluctuations. Formation of algae may be prevented by increasing the H_2O_2-concentration contained in the solution to 5 ml perhydrol/10 l. Considerable quantities of dust can be retained by loosely fitting quartz-cotton filters. The quartz cotton should be replaced weekly.

The average weekly drift for the three SO_2 appliances is 0.4 ppb with a data dispersion by about ± 1 ppb.

The transverse sensitivity to chlorine, nitric oxyde, ozone and ammonia is eliminated by a filter made from potassium bisulphate (5–20 % KH SO_4) dried on pumice and a saturated silver sulphate solution (99 % of the SO_2 passes through the filter). This filter is replaced every fortnight. There is a transverse sensitivity to water vapour and CO_2 which cannot be eliminated by an ante-filter. According to the manufacturer, the working points of the equipment have been selected at favourable locations of the characteristic curve permitting for CO_2- and humidity-concentrations, compensation of deviations near the annual average.

Calibration

According to past experience the sensitivity of the Picoflux L analyzers remains within the guaranteed limit of error (± 2.5 % of the reading) at least for a period of 6 months and the uncertainty coefficient is largely determined by the zero variation.
Such zero variation is compensated during the 23-hour calibration triggered by the process computer. The zero filter is connected through two magnetic valves (V2A, Teflon) between the ante-filter and the test-air inlet. At the "measuring" position the filter is closed by the valves (out of circuit). As a result, the humidity in the filter is kept more constant and will not adapt itself to the drier ambient air before the next calibration. The peak rated value is produced (valves in „zero-gas" position) statically by calibrating resistance effecting this indication. Dynamic calibration of sensitivity, a much more elaborate type of calibration, is carried out only when required about every six months and together with a dosing device (Wösthoff).

Maintenance

During the weekly maintenance operation (refilling of reagent) the reaction coil and the collecting filter should be inspected for impurities and the measuring cell be cleansed (with RBS 25) where necessary. The throughput of the chemical solution might be impeded by the formation of air bubbles which can easily be removed without any disturbance of the apparatus. The inspection of the electric calibration point can only indicate interference in the electronic unit. Other interference may be noted from analog-recording.

Down times

During calibration, a 30-minutes average is lost every 23 hours and, in addition, a 30-minutes average is lost per week when refilling the reagent. When parts of the

pro Woche verloren. Nach einer Teilreinigung des Gerätes benötigt der Analysator zwei Tage Einlaufzeit.

SO_2-Analysator (Philips PW 9700)

Der Analysator arbeitet nach dem Prinzip einer kontinuierlichen automatischen Titration, wobei die Reagenzflüssigkeit im System wieder regeneriert wird (L. A. Clarenburg, T. Schneider u. a. 1972).

Bereich, 90 %-Zeit, Genauigkeit

Die bei der Meßstation eingesetzten Geräte sind auf ein Meßbereich 0 bis 0,5 ppm bei Vollausschlag eingestellt. Die 90 %-Zeit ist bei den hier betriebenen Geräten 3 Minuten. Gerätestörungen ließen im Berichtszeitraum die Bestimmung weiterer Gerätedaten nicht zu.

Störeinflüsse, Drift, Querempfindlichkeit

Die meisten Störungen resultieren aus einer häufig wiederkehrenden Verstopfung des Meßlufteintrittloches in die Reaktionsflüssigkeit (Verzementierung von Siliconöl aus einer Druckausgleichsvorlage). Die störanfälligen Pumpen der ersten Serie wurden inzwischen ausgetauscht. Um das Driftverhalten beurteilen zu können, liegen noch nicht genügend zeitlich zusammenhängende Meßwertkollektive vor.

Wartung

Die von der Lieferfirma vorgeschriebenen Wartungsintervalle von 3 Monaten wurden bisher nicht erreicht.

CO-Analysator

Meßprinzip

Die Kohlenmonoxid-Konzentration wird an der Zentralstation mit einem Infrarot-Gasanalysator Typ Uras 1 in Spezialausführung mit langer Küvette (70 cm) und auf Außenstellen mit URAS 2 gemessen. Das Meßprinzip beruht auf der Absorption von Infrarotstrahlung durch das Meßgas nach einem nichtdispersiven Verfahren (VDI 2455).

Bereich, 90 %-Zeit, Genauigkeit

Der CO-Analysator ist mit einem Bereich von 0 bis 25 ppm eingestellt. Durch den Einsatz eines CMR-Meßumformers wurde es notwendig, den Nullpunkt von 0 auf 3 ppm zu verlegen, um das Driften beiderseits des Nullpunktes automatisch nachregulieren zu können. Der Meßgasdurchsatz muß bei URAS 1 60 l/h sein, damit eine 90 %-Zeit von $<$ 30 sec. erreicht wird. Die neu eingesetzten URAS 2-Geräte mit normaler Küvettenlänge haben einen Luftdurchsatz von 30 l/h. Die 90 %-Zeit liegt einschließlich der Befeuchtungseinrichtung und des Meßgaskühlers bei 15 Sekunden, die Totzeit bei 45 Sekunden. Der Bereichsumfang beträgt 0 bis 50 ppm. In der vorhandenen Anordnung läßt sich über kürzere Zeiten (Stunden, p = const.) eine Reproduzierbarkeit von 1,5 % des Bereichsumfanges erzielen. Für Absolutmessungen sind die Toleranzangaben der Eichgase ($\pm$ 2 % des angegebenen Eichwertes) zu berücksichtigen. Für den Zeitraum von 12 Stunden ist durch Luftdruckänderung und Drift ein Fehler von 4 % des Skalenwertes möglich.

equipment have been cleaned, the analyzer needs 48 hours for running in.

SO_2-analyzer (Philips PW 9700)

The analyzer works on the principle of continuous automatic titration in the course of which the reagent is regenerated again (L. A. Clarenburg, T. Schneider, and others, 1972).

Range, 90 % time, accuracy

The items of equipment used at the measuring stations are set to a measuring range of 0 – 0.5 ppm at full-scale deflection. The 90 % time for this equipment is 3 minutes. In the period under review identification of other characteristics of the equipment was not possible due to faults in the equipment.

Interference, drift and transverse sensitivity

Interference was caused in most cases by the repeated clogging of the test-air outlet port to the reagent (cementing of siliconoil due to pressure-equalizing). The pumps of the initial series which were susceptible to trouble have been replaced. In the absence of an adequate number of data lots interrelated in time it has not yet been possible to assess the drift behaviour.

Maintenance

The maintenance intervals of 3 months, specified by the supplier, have not yet been achieved.

CO-analyzer

Measuring principle

The carbon monoxide concentration is measured at the central station by means of an infrared gas analyser type URAS 1 of a special design with a long-sized cuvette (70 cm), and at the regional stations by means of an URAS 2. The measuring principle is based on the absorption of infrared radiation by the test gas based on a nondispersive technique (VDI 2455).

Range, 90 % time, accuracy

The CO-analyzer is set to a range of 0 – 25 ppm. The use of a CMR measuring transducer made it necessary to shift the zero point from 0 to 3 ppm to permit automatic readjustment of drifting on both sides of the zero point. For URAS 1, the test gas throughput must be 60 l/h to attain a 90 % time of $<$ 30 secs. The new URAS 2 equipment using cuvettes of normal length has an air throughput of 30 l/h. The 90 % time is about 15 secs. including humidifier and test gas cooler, while the dead time is about 45 secs. The range is 0 – 50 ppm. For short periods of time (hours, p = const.) the existing configuration permits a reproductivity of 1.5 % of the range. For absolute measurements, it is necessary to take into account the permissible limits for calibration gases ($\pm$ 2 % of the indicated reference value). Over a 12-hour period, an error of 4 % of the full-scale value is possible due to changes in air pressure and to drifts.

Störeinflüsse, Drift, Querempfindlichkeit

Die tägliche Kalibrierung übernimmt der Prozeßrechner an Stelle des bis zum Frühjahr 1971 verwendeten CMR-Meßumformers. Der Mittelwert der Meßwertdrift beträgt bei 23stündiger Kalibrierung durch den Prozeßrechner am oberen Eichpunkt + 0,45 ppm CO und am unteren Eichpunkt + 0,32 ppm Co für URAS 1 und 0,4 bzw. 0,3 ppm beim URAS 2.

Veränderungen des Luftdruckes ergeben bei 760 mm Hg und 20° C für Luftdruckabweichungen von ±10 Torr eine Änderung von ± 1 % des Meßwertes. Eine Korrektur der Meßwerte im Hinblick auf Luftdruckschwankungen ist rechnerisch anzubringen. Bei einer Änderung des Wasserdampfgehaltes der Meßluft von 1 g/m³ ergibt sich eine Meßwertänderung von ± 0,6 ppm. Ein Meßgaskühler mit vorgeschaltetem Befeuchter (für Temperaturen < + 1° C) sorgt für eine konstante Sättigungsfeuchte (+ 1° C), die bei der Kalibrierung berücksichtigt wird.

Die Querempfindlichkeit auf CO_2 ist ± 0,1 % vom Endausschlag für je 100 ppm CO_2 und nur nachträglich zu korrigieren.

Kalibrierung

Die Kalibrierung erfolgt prozeßrechnergesteuert alle 23 Stunden am unteren Endpunkt mit N_2-Spezial und am oberen Eichpunkt mit einem analysierten Prüfgasvorgemisch von CO in N_2. Der Stickstoff enthält noch einen geringen Restgehalt von CO, der vor dem Flaschenanschluß bestimmt wird. Der Einfluß der relativen Feuchte bei + 1° C wird je Gerät (Küvetten- und Empfängerfüllungsabhängig) bestimmt und dem Flaschenwert (Eichsollwert) zugeordnet. Neue Eichgasflaschen werden an die Konzentrationswerte der alten Flasche angeschlossen. Diese Anschlußmessung ist etwa alle 6 bis 8 Monate mit einer dynamischen Eichung (Kükendosierung von CO in N_2) zu kontrollieren.

Beim Austausch der Prüfgasflaschen fallen alle 4 Monate 3 Halbstundenmittelwerte und bei der 23stündlichen Eichung je 1 Halbstundenmittel aus. Infolge von Umbauten sowie wegen großer Driftabweichungen des Meßsignals ergaben sich mehrwöchige Ausfallzeiten.

NO + NO_2-Analysator

Meßprinzip „Picos" (NO und NO_2)

In einer elektrolytischen Feststoff-Meßzelle erzeugt die Meßkomponente an der Meßelektrode eine konzentrationsproportionale Ionenkonzentration (elektrolytische Polarisation). Der von der Meßelektrode über den äußeren Meßkreis zur Gegenelektrode fließende elektrische Strom ist ein Maß für die Konzentration der Meßkomponente (W. Breuer 1969).

Meßbereich, 90 %-Zeit, Genauigkeit

Der Meßbereich ist an einem Empfindlichkeitspotentiometer im Bereich 50 ppb bis 2 ppm bei Vollausschlag einstellbar. Die Totzeit (ohne Ansaugleitung) beträgt 15 Sekunden. Die 90 %-Zeit ist von Gerät zu Gerät verschieden und liegt zwischen 50 und 100 Sekunden, die 60 %-Zeit bei 15 Sekunden. Zur Genauigkeit lassen sich noch keine detaillierten Angaben ma-

Interference, drift and transverse sensitivity

For daily calibration, the process computer is now used instead of the CMR transducer, used until early 1971. When using the process computer for calibration over a 23-hour period, the average of the reading drift at the top calibration point is + 0.45 ppm CO and at the bottom calibration point + 0.32 ppm CO for URAS 1, and 0.4 and 0.3 ppm respectively for URAS 2.

At 760 mm Hg and 20 centigrades for air pressure variations of ± 10 Torr, changes in the air pressure result in a data variation of ± 1 %. Corrections of the readings with regard to air pressure variations should be made by way of calculation. When the water vapour contents of the test air vary by 1/gr/m³ the reading will vary by ± 0.6 ppm. A test gas cooler with an antehumidifier (for temperatures of < + 1 centigrade) provides a constant saturation humidity (+ 1 centigrade) which is taken into account during the calibration process.

The transverse sensitivity to CO_2 is ± 0.1 % of the full-scale reading for each 100 ppm of CO_2, and only subsequent correction is possible.

Calibration

The calibration is process-computer-controlled and takes place every 23 hours, i. e. at the bottom calibration point by using N_2 – Spezial and at the top calibration point by using an analyzed test gas premix of CO in N_2. The nitrogen still contains a minor residual amount of CO to be specified before connecting the cylinder. The effects of relative humidity at + 1 centigrade are determined separately for each equipment (depending on cuvettes and receptacle filling) and translated to the cylinder value (rated calibration value). New calibration gas cylinders are connected on the basis of the concentration value of the old cylinders. The results of this connection test should be checked about every 6–8 months by dynamic calibration (stopcock dosage of CO in N_2).
When replacing test gas cylinders three 30-minutes averages are lost every 4 months, and the 23-hours calibration results in a loss of one 30-minutes average. Modifications and major drift variations of the test signal resulted in down periods of several weeks.

NO + NO_2-analyzer

Measuring principle "PICOS" (NO and NO_2)

In an electrolytic solid-matter test cell the measuring component produces at the test electrode a proportionate ionic concentration (electrolytic polarization). The electric current flowing from the measuring electrode via the outer measuring circuit to the counter electrode is a criterion for the concentration of the measuring component (W. Breuer 1969).

Measuring range, 90 % time, accuracy

The measuring range is adjustable at a sensitivity potentiometer within the range of 50 ppb to 2 ppm at full scale deflection. The dead time (suction line not included) is 15 secs. The 90 % time varies from equipment to equipment, i. e. between 50 and 100 secs, the 60 % time being 15 secs. As far as accuracy is concerned, it is not yet possible to provide detailed in-

chen. Der Hersteller nennt als Ansprechempfindlichkeit 1% und eine Fehlergrenze von 5% vom Meßbereichsendwert.

Störeinflüsse, Drift, Querempfindlichkeit

Netzschwankungen von 10% haben keine Wirkung auf die Anzeige. Die Drift ist kleiner als ± 2 vom Skalenendwert pro Woche. Das Vorfilter enthält Silberwatte gegen H_2S. SO_2 wird in der Oxidationsmasse, die auch NO und NO_2 aufoxidiert, zurückgehalten. Die Beeinträchtigung der Zellenkapazität durch Aerosole wird durch ein Microsorbanfilter vermieden. Die quantitative Bestimmung der Querempfindlichkeiten wird zur Zeit untersucht.

Kalibrierung

Die Kalibrierung erfolgte bisher entweder an der Dosierstation Bayer-Leverkusen oder bei der Firma Hartmann & Braun. Eine eigene Dosiereinrichtung, ausgehend von NO, wird zur Zeit erprobt, eine weitere, ausgehend von N_2O_4 befindet sich im Bau.

Die Wartung der Picos-Geräte für NO_x erfordert einen wöchentlichen Wechsel der Vorfilterpatrone (nach einer Woche werden noch 84% des NO zu NO_2, nach 3 Wochen nur 47% aufoxidiert). Beim Filterwechsel sollte auch die Durchsatzmenge des Meßgases auf Sollwert geprüft werden. Monatlich sind einige Tropfen des organischen Elektrolyten nachzufüllen.

Schwebstaub-Analysator

Meßprinzip

Die Messung der β-Strahlenabsorption der auf einem Filterband abgeschiedenen Partikel ermöglicht die Bestimmung der Schwebstaubkonzentration im Luftvolumen. Die Kalibrierung erfolgt durch gravimetrische Bestimmung der Staublegung (K. Aurand, J. Bosch 1967). Da das Gerät durch langwierige Umbauten an eine automatisierte Messung erst angepaßt wurde, liegt keine detaillierte Untersuchung vor. Die Umbauten waren folgende:

1. Umstellung von Batterieversorgung auf Netzbetrieb;
2. Verbesserung der Empfindlichkeit durch Erhöhung der Saugleistung auf 4 m^3/h (vorher 1 m^3/h), um einen Halbstundenmeßzyklus erreichen zu können;
3. Anpassung des Verstärkereinganges an den Rechnereingang;
4. Fremdansteuerung des Filterbandtransportes durch den Rechner;
5. Änderung der Zykluszeit entsprechend der Filterbelegung, d. h. der Filterwechsel durch den Rechner erfolgt nach Erreichen des 75%-Wertes des Meßbereichsumfanges (1450 $\mu g/m^3$);
6. Änderung der Filterbandträger.

Gesamtkohlenwasserstoff-Analysatoren

Meßprinzip

Zur Messung der Konzentration von Kohlenwasserstoffen in der Luft stehen ein Laborgerät der Fa. Hartmann & Braun sowie zwei Geräte aus der Serienfertigung zur Verfügung.

formation. The manufacturer indicates a response sensitivity of 1% and a limit of error of 5% of the full-scale value.

Interference, drift, transverse sensitivity

Line-voltage variations of 10% do not affect the readding. The drift is less than ± 2% of the full-scale value per week. The ante-filter contains silver cotton to retain H_2S. SO_2 is retained in the oxidation compound which also oxidizes NO and NO_2. A microsorban filter prevents impairing of the cell capacity by aerosols. Tests are underway to define the transverse sensitivity in terms of quantity.

Calibration

Previously, calibration has been effected either at the dosing station of Bayer-Leverkusen or at the firm of Hartmann & Braun. An on-site dosing appliance based on NO is being tested and an additional appliance based on N_2O_4 is under construction.

The maintenance of the NO_x PICOS equipment requires weekly replacement of the ante-filter cartridge (after a week's time as much as 84% of the NO will be oxidized to NO_2, after 3 weeks only 47%). When replacing the filter, the throughput of the test gas should also be checked for its rated value. Some drops of the organic electrolyte should be refilled every month.

Suspended-dust-analyzer

Principle of measurement

By measuring the beta ray absorption of the particles deposited on a band filter it is possible to analyze the suspended dust concentration in the air volume. Calibration is effected by gravimetric analysis of the dust deposit (K. Aurand, J. Bosch 1967). Since time-consuming modifications were necessary to adapt the appliance to automated measurement, no detailed test result is available.
The following modifications were made:

1. Change from battery power supply to commercial power operation.
2. Improvement of sensitivity by increasing the suction capacity to 4 $m^3/$ (originally 1 m^3/h) to secure a 30-minutes measuring cycle.
3. Adaption of the amplifier intake to the computer intake.
4. External triggering by the computer of the filterband transport
5. Modification of cycling to match filter occupancy, i. e. filter replacement by the computer will be effected when 75% of the measuring range (1450 $\mu g/m^3$) is reached.
6. Modification of the filter band support.

Overall-hydrocarbon-analyzers

Principle of measurement

For measurements of hydrocarbon concentrations in the air one laboratory test equipment of the firm of Hartmann & Braun and two mass-produced appliances are available.

Bei beiden Geräten wird Meßluft einer Wasserstoff-Flamme zudosiert. Die in der Luft enthaltenen Kohlenwasserstoffe werden ionisiert. Der Ionenstrom im elektrischen Feld zweier Sonden wird verstärkt und gemessen (Engelhardt 1972).

Bereich, 90%-Zeit

Die Meßbereiche der Geräte sind auf 0 bis 5 ppm C_nH_m festgelegt. Meßwertangaben beziehen sich entsprechend unserer Eichung auf Methan. Für das Laborgerät der Fa. Hartmann & Braun beträgt die Totzeit 20 sec, und die 90%-Zeit etwa 10 sec. Die C_nH_m-Analysatoren aus der Serienfertigung des Herstellers befinden sich noch in der Erprobung.

Querempfindlichkeit, Störeinflüsse, Drift

Das Gerät der Fa. Hartmann & Braun ist unempfindlich gegenüber atmosphärischen Wasserdampf- und Luftdruckschwankungen kleiner als ± 30 Torr. Gegenüber anderen Komponenten zeigen sich Querempfindlichkeiten erst bei Überschreiten folgender in der Außenluft kaum vorhandener Konzentrationen: 700 ppm CO_2, 10 ppm NO_2, 1 ppm SO_2. Ein Einfluß des CO auf den Meßwert wurde nicht festgestellt. Innerhalb der normalen Betriebsbedingungen sind also keine Meßwertänderungen durch Querempfindlichkeiten zu erwarten.

Staub erzeugt beim Eintritt in die Brennkammer kurze Einzelpeaks. Außerdem kann er die Dosierkapillaren für die Meß- und Brennluft verstopfen. Zur Vermeidung von Staubeintritt ist dem Gerät ein Quarzglaswattefilter vorgeschaltet.

Netzspannungsschwankungen von ± 10% sind auf Verstärker und Meßwertgeber des Gerätes ohne Einfluß. Die Drift der Elektronik liegt laut Herstellerangabe unter 1% des Meßwertes pro Monat und bewirkt eine geringfügige Nullpunktsenkung. Die Drift des Gebers ist von der Zunahme der Verschmutzung der Kapillaren abhängig, da sich dadurch der Luftdurchsatz verringert.

Kalibrierung

Die Kalibrierung erfolgt mit synthetischer Luft, deren Restgehalt an Kohlenwasserstoffen vom Hersteller durch Analyse ermittelt worden ist. Die Nullpunktnahme erfolgt beim Gerät von Hartmann & Braun durch Abschalten der Meßluft. Eichungen durch Zudosieren von Methan über die Dosieranlage sind nur möglich, wenn ein völlig kohlenwasserstofffreies Trägergas zur Verfügung steht. Hier wurde eine Anlage zur katalytischen Verbrennung des Kohlenwasserstoffgehaltes der Luft erprobt. Im Einsatz befanden sich die Katalysatoren NV E 228 der Fa. Degussa und COEX-31-0.146 der Fa. Doduco-Chemie. Die Verweilzeit der Luft am Katalysator war in beiden Fällen 15 sec. Zum Schutz des Katalysators vor Verunreinigungen und Vergiftung wurde ein Aktivkohlefilter vor den Ofen geschaltet. Als Leitungsmaterial zwischen Ofen und Gerät zeigten sich Viton und Polyäthylen als geeignet. PVC-Schläuche sind wegen Ausdampfens von kohlenwasserstoffhaltigen Zusatzstoffen (Härter) ungeeignet. Über die Standzeit der Katalysatoren können noch keine Aussagen gemacht werden. Zur Wartung des Gerätes ist besonders auf die Druckanzei-

For the two types of equipment test air is dosed to a hydrogen flame. The hydrocarbon contained in the air is ionized. The ionization current in the electric field of two probes is amplified and measured (Engelhardt 1972).

Range, 90% time

The measuring ranges of the instruments are set to 0 – 5 ppm C_nH_m. Readings based on our calibration are related to methane. For the laboratory test equipment of the firm of Hartmann & Braun the dead time is 20 secs and the 90% time about 10 secs. The mass-produced C_nH_m-analyzers are still in the test stage.

Transverse sensitivity, interference, drift

The equipment of the firm Hartmann & Braun is insensitive to atmospheric fluctuations of water vapour and air pressure $< \pm$ 30 Torr. Transverse sensitivities to other components are noted only when the following concentrations, which are hardly encountered in the atmosphere, are exceeded: 700 ppm of CO_2, 10 ppm of NO_2, 1 ppm of SO_2. The CO did not show any effect on the reading. Within normal operational conditions, variations of readings due to transverse sensitivities are therefore not to be expected.

When penetrating into the combustion chamber dust produces short-time single peaks. In addition, dust may clog the capillary tubes used for the dosing of test and combustion air. To avoid any dust penetration, the equipment is provided with a quartz-glass fibre ante-filter.

Line voltage variations of ± 10% have no effect on the amplifier and data indicator of the equipment. As indicated by the manufacturer the electronics drift is less than 1% of the reading per month, effecting a minor zero drop. The extent of the pick-up drift depends on the increase in capillar tube clogging, since the latter reduces the air flow.

Calibration

Calibration is effected by using synthetic air, the residual hydrocarbon contents of which have been analyzed by the manufacturer. For the Hartmann & Braun equipment resetting is done by discontinuing the flow of test air. Calibrations using a technique where methane is injected through a dosing system are practicable only where carrier gas without any hydrocarbon contents is available. For this purpose, a test was made on a system used for catalytic combustion of atmospheric hydrocarbon contents. The following types of catalyzers were used: NV E 228 made by the firm of Degussa and COEX-31-0.146 made by the firm of Doduco-Chemie. In both cases, the air was left at the catalyzer for 15 secs. To protect the catalyzer against contamination an activated carbon filter was placed in front of the furnace. Viton and polyethylene proved to be suitable conducting material between furnace and equipment. PVC tubes are unsuitable because they evaporate hydrocarbonaceous aggregates (hardeners). It is not yet possible to provide any information on the service life of the catalyzers. To ensure proper maintenance of the equipment pressure

gen am Gerät zu achten. Eine Verminderung der Strömungsgeschwindigkeit des Meßgases bewirkt eine starke Empfindlichkeitsabnahme. Bei den serienmäßigen Geräten funktionieren alle Druckelemente seit 2 Monaten einwandfrei.

Ausfallzeiten

Alle 14 Tage fallen 3 bis 4 Halbstundenmittelwerte wegen Eichung aus. Durch Pumpenwechsel gehen alle 2 Monate etwa 6 Halbstundenmittelwerte und alle 3 Monate durch Anschluß neuer Brenngasflaschen mit anschließender Eichung des Gerätes 10 bis 15 Halbstundenmittelwerte verloren. Für die neuen Geräte liegen noch keine Erfahrungswerte vor.

Ozon-Analysator (Mast)

Meßprinzip

Eine gepufferte Kaliumjodidlösung reduziert auf der Reaktionsstrecke den O_3-Gehalt der Meßluft unter Freisetzung von Jod zu Sauerstoff. Jod reagiert mit dem durch eine Hilfsspannung an der Kathode erzeugten Wasserstoffilm zu HJ. Bei der Wiederherstellung des Wasserstoffilms an der Kathode wird ein Polarisationsstrom erzeugt, der als Meßsignal über Zwischenverstärker in einen eingeprägten Strom von 0 bis 20 mA umgewandelt wird.

Querempfindlichkeit

Durch das Meßprinzip bedingt, muß normalerweise mit einem Störeinfluß aller Reduktions- und Oxidationsmittel gerechnet werden. Nach einer Untersuchung der Farbwerke Hoechst beträgt die Querempfindlichkeit für NO_2 + 10% für NO < + 4% und für Schwefeldioxid – 30 bis – 40%.

Wartung

Der Wartungsaufwand ist relativ gering. Nach Einbau größerer Reaktionstanks muß nur alle 4 bis 5 Wochen Reaktionslösung nachgefüllt werden. Gleichzeitig ist dabei eine Überprüfung der Pumpe für die Analysenluft durchzuführen. Sobald die Reaktionsstrecke sich gelblich verfärbt, muß das Gerät gereinigt werden.

Meteorologische Meßgeräte

Windmessung

Die Messung der Windgeschwindigkeit erfolgt mit einem Schalenkreuzanemometer, die der Windrichtung mit einer „Jachtwindfahne" der Fa. Lambrecht. Sie wurde mit einem 358°-Potentiometer (eine volle Drehung entspricht einer Widerstandsänderung von 1000 Ohm) anstelle eines Drehfeldgebers umgerüstet.

Temperatur

Ein Platinwiderstandsthermometer für Luftmessung (Pt 100 Din) in Verbindung mit einem (besonders linearen) Brückenverstärker (Ausgang 0 bis 20 mA) mißt die Lufttemperatur im Bereich von – 30° bis + 40° C.

Relative Feuchte

Zur Messung der relativen Feuchte ist ein Lambrecht-Haarhygrometer mit linearisiertem Potentiometer eingesetzt.

readings should be carefully observed. Any decrease in the flow rate of the test gas results in a major reduction of sensitivity. All pressure-control elements of the mass-produced equipment have worked satisfactorily for two months now.

Down times

Every fortnight, 3 to 4 30-minutes averages are lost due to calibration. Every 2 months, about 6 30-minutes averages are lost owing to the replacement of pumps, and every 3 months 10 – 15 30-minutes averages are lost owing to the connection of new fuel gas cylinders followed by calibration of the equipment. For the new equipment no empirical values are yet available.

Ozone-analyzer (Mast)

Measuring principle

When passing the reaction path, a buffered potassium iodine solution reduces the O_3-contents of the test air, releasing iodine to oxygen. Iodine, together with the hydrogen film produced at the anode by auxiliary voltage reacts to HI. When restoring the hydrogen film at the anode, a polarization current is produced which as a measuring signal is converted, through intermediate amplifiers, to an impressed current of 0 – 20 m A.

Transverse sensitivity

Conditional on the measuring principle it is normally to be expected that all reduction and oxydation agents produce interference. Tests conducted by Farbwerke Hoechst have shown that the transverse sensitivity for NO_2 is + 10%, for NO < + 4% and for sulphur dioxide – 30% to — 40%.

Maintenance

Only relatively minor maintenance efforts are required. After the installation of large-size reaction tanks reaction solution has to be refilled every 4 to 5 weeks only. At the same time, it is necessary to check the pump used for the input of test air. As soon as the reaction path turns yellow, the equipment has to be cleaned.

Meteorological measuring equipment

Anemometry

To measure the velocity of wind a cup-type anemometer is used while the direction of wind is indicated by a "Jachtwindfahne" (special vane) manufactured by the firm of Lambrecht. For the latter equipment, a 358 degree potentiometer (one rotation equals a change of resistance of 1000 ohms) was taken to replace a synchro system.

Temperature

A platinum resistance thermometer for air metering (Pt 100 DIN) and a (highly linearized) bridge amplifier (output 0 — 20 mA) are used to measure the air temperature within the range of – 30 to + 40 centigrades

Relative humidity

To measure the relative humidity a hair hygrometer equipped with a linearized potentiometer, manufactured by the firm of Lambrecht, is used.

Strahlungsbilanz

Die Strahlungsbilanz wird mit einem Lange-Meßgerät nach Prof. Schulz gemessen. Die von den Thermosäulen erzeugte Spannung wird mit einem Verstärker in eingeprägten Strom (0 bis 20 mA) umgewandelt.

Atmosphärischer Druck

Der atmosphärische Luftdruck (Bereich 950 bis 1050 mb) wird mit einer Barton-Zelle der Fa. Hartmann & Braun gemessen (Ausgang 0 bis 20 mA).

3.2.2.3. Stationsbeschreibungen

Zentralstation

Die zentrale Meßstelle saugt die Luft zur Analyse 11 m über Grund auf der der Straße abgewandten Seite (25 m) des Gebäudes an. Um lange Verweilzeiten in der Ansaugleitung zu vermeiden, wird die Meßluft durch eine separate Pumpe mit einem Durchsatz von 1500 l/h durch die über den Analysatoren laufende Ringleitung gesaugt. Seit 2½ Jahren bewähren sich Seitenkanalverdichter, die bei unbehinderter Eigenkühlung seit mehr als einem Jahr wartungsfrei laufen. Aus der Ringleitung entnehmen die Geräte mit eigenen Pumpen ihre benötigte Meßluft.

Es werden gemessen: CO_2, CO, SO_2, NO_x, C_nH_m, Schwebstaubkonzentration, Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Temperatur, Relative Feuchte, Atmosphärischer Druck und die Strahlungsbilanz.

Oststation – Offenbach

Ab Juli 1971 (Umzug wegen Kündigung) befindet sich die Oststation in einem Bürohaus des Deutschen Wetterdienstes mit der Probenahmestelle in 11 m Höhe am Kaiserlei-Kreisel, Nähe Staustufe Offenbach. Es wird CO_2, CO und SO_2 gemessen. Eine Temperierung des Meßraumes und beschleunigte Durchsauggeschwindigkeit ist hier nicht erforderlich. Diese Meßstation soll die Abluft der Stadt Frankfurt bei Westwetterlagen sowie die Zuluft bei östlichen Winden und die Schadgasanreicherung bei stagnierenden Wetterlagen erfassen.

Weststation – Frankfurt-Nied

Ab Mai 1971 befindet sich die Weststation im Dachstuhl einer Schule in Frankfurt-Nied mit der Probenahme in 10 m Höhe. Die Umgebung ist eine Stadtrandsiedlung in offener, zweigeschossiger Bauweise mit Einzelheizung. Diese Meßstelle für CO_2 und SO_2 soll die Beurteilung der Zuluft für Frankfurt bei SW-Wetterlagen insbesondere des Industrie- und Siedlungsgebietes Höchst sowie der Abluft bei Ostwetterlagen ermöglichen. Die Meßstelle benötigt eine Temperierung der Meßschränke, da die Sommertemperaturen im Dachboden oft 40° C übersteigen.

Meßstelle Nord – Nieder-Erlenbach

Nieder-Erlenbach liegt etwa 10 km nördlich vom Stadtzentrum Frankfurt. Diese Meßstelle für SO_2 mit einer Ansaughöhe von 5 m befindet sich 500 m südwestlich der Ortschaft in einem Transformatorenhaus. Sie soll

Balance of radiation

The balance of radiation is measured by using an instrument based on the system developed by Professor Schulz. The voltage generated by the thermoelectric piles is converted by an amplifier into impressed current (0 – 20 mA).

Atmospheric pressure

To measure the atmospheric pressure (range 950 to 1050 mb) a Barton-cell made by the firm of Hartmann & Braun is used (output 0 – 20 mA).

3.2.2.3. Description of the measuring stations

Central station

The central measuring station sucks in the air for analysis 11 m above the ground at the side of the building not facing the street (25 m). In order to avoid that the air remains in the intake line for a long time, it is sucked with a special 1500 l/h pump into a ring line above the analysers. Lateral condensors which have been operating with a free self-cooling system without requiring maintenance for more than a year have proved themselves for 2½ years. The equipment sucks the air to be analysed from the ring line, using its own pumps. The air is analysed for: CO_2, CO, SO_2, NO_x, C_nH_m, suspended dust concentration, wind direction, wind velocity, temperature, relative humidity, atmospheric pressure and the radiation balance.

Eastern station – Offenbach

Since July 1971 (transfer because of end of lease) the eastern station has been accommodated in an office building of the German Weather Service, where the sample points is 11 m above the Kaiserlei Kreisel near the barrage of Offenbach. Measurements concern CO_2-, CO- and SO_2-concentrations. Air-conditioning of the analysis room and accelerated rate of suction is not required. This measuring station is to analyse the outgoing air from Frankfurt during west wind weather and the incoming air in case of east wind as well as the pollution gas accumulation during stagnating weather.

Western station – Frankfurt-Nied

Since May 1971 the western station has been accommodated in the attic of a school in Frankfurt-Nied where samples are taken at a height of 10 m. It is surrounded by a residential district at the city outskirts consisting of detached two-storey buildings with individual heating. This measuring station for CO_2 and SO_2 is to make possible an analysis of the incoming air for Frankfurt in case of south-western currents, especially for the industrial and housing district of Hoechst, as well as the outgoing air in case of east wind weather. This station requires air-conditioning of the measuring equipment cases because summer temperatures in the attic often exceed 40° C.

Northern station – Nieder-Erlenbach

Nieder-Erlenbach is about 10 km north of the center of Frankfurt. This measuring station for SO_2 at an intake height of 5 m is located about 500 m south-west of the village in a transformer building. It is to analyse the

bei Süd- bis West- und stagnierenden Wetterlagen den Einfluß der Stadt Frankfurt und bei Nordwindlagen den Beitrag von Nieder-Erlenbach erfassen. Bei Südostwind befindet sich die Meßstelle im Lee von Bad Vilbel.

Meßstelle Süd – Neu-Isenburg

Neu-Isenburg ist eine Kleinstadt mit Wohn- und Gewerbebezirken etwa 7 bis 8 km südlich des Zentrums von Frankfurt. Die Meßstelle (5 m Ansaughöhe, Meßkomponente SO_2) ist an der nördlichen Bebauungsgrenze der Siedlung untergebracht. Bei Nordwest- bis Nordost-Wind erreicht die Abluft der Großstadt die Meßstelle. Bei stagnierenden Wetterlagen überlagern sich der Einfluß Frankfurts und Neu-Isenburgs. Bei Winden aus West bis Süd erfaßt die Meßstelle den Einfluß der Kleinstadt.

Meßstelle Südwest – Hattersheim

Hattersheim ist eine größere Ortschaft mit Landwirtschafts- und Gewerbebetrieben sowie Wohnbezirken in offener Bauweise. Die Meßstelle (5 m Ansaughöhe, Meßkomponente SO_2) ist in der Pflanzenbegasungsstelle des Institutes für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes untergebracht. Diese Meßstelle liegt bei ONO-Wind im Lee der Stadt Frankfurt und der Industriebetriebe bei Griesheim, bei NNO-Wind im Lee von Höchst, bei OSO-Wind im Lee von Kelsterbach. Bei Westwetterlagen hat diese Meßstelle ein freies Vorfeld.

Meßstelle Südost – Groß-Krotzenburg

Die gemäß Gewerbeordnungs-Auflage im Nahfeld der Kraftwerke Groß-Krotzenburg betriebene SO_2-Meßstelle (Ansaughöhe 2 m) wurde ebenfalls an das Meßsystem angeschlossen. Sie erfaßt bei Westwetterlagen die Abluft des Großraumes Frankfurt und bei stagnierenden Wetterlagen den Einfluß der Kraftwerke.

Kfz.-Meßstelle – Ffm. Innenstadt – Zentrum

City-Station Rundschauhaus

Die City-Station Rundschauhaus liegt im Stadtkern Frankfurts an einer dreispurig befahrenen Hauptstraße mit hoher Verkehrsfrequenz.

Die Analysengeräte sind in 6 Meter Höhe auf einem Gebäudeumgang in im Freien stehenden Meßschränken untergebracht. Die Ansaugstelle ist 40 m von der nächsten Straßenkreuzung entfernt und befindet sich in der Mitte des Bürgersteigs 3,5 m über Straßengrund.

Zur Zeit werden Kohlenmonoxid (Uras II), Kohlenwasserstoffe (Fidas), Nitrose Gase (Picos [$NO+NO_2$]) und Ozon (Mast) gemessen. Die Registrierung der anfallenden Meßwerte erfolgt auf Zwei-Kanal-Schreibern des Typs Linecomp mit 0 bis 20 mA Eingang. Sämtliche Meßgeräte haben durch interne oder externe Zwischenverstärker einen 0 bis 20 mA-Ausgang. Die Unterbringung der Meßgeräte im Freien ermöglicht relativ kurze Ansaugleitungen und gute Wartungsbedingungen, die insbesondere die Ozon- und NO_x-Messung wesentlich erleichtern. Der Einfluß der schwankenden Außentemperaturen und der Aufheizung der

influence of the Frankfurt air current in case of south to west winds and during stagnating weather conditions, and the contribution of Nieder-Erlenbach in case of north wind. In case of south-east wind the station is on the leeward side of Bad Vilbel.

Southern station – Neu-Isenburg

Neu-Isenburg is a small town with residential and business districts about 7–8 km south of the center of Frankfurt. The measuring station (5 m intake height, SO_2) is situated at the northern border of the built-up area. During north-west to north-east wind periods the outgoing air currents from Frankfurt reach the station. During stagnating weather conditions the Frankfurt and Neu-Isenburg influences overlap. In case of west and south wind the station measures the Neu-Isenburg influence.

South-western station – Hattersheim

Hattersheim is a medium town with agricultural and other enterprises and with detached residential districts. The station (5 m intake height, SO_2 components) is accommodated in the plant gassing section of the Institute for Water-, Soil- and Air-Hygienics of the Federal Health Office. In case of east-north-east winds this station is on the leeward side of Frankfurt and the industrial district of Griesheim, in case of north-north-east wind on the leeward side of Hoechst and during east-south-east winds on the leeward side of Kelsterbach. During west wind weather this station has a free front area.

South-eastern station – Groß-Krotzenburg

The SO_2-measuring station Groß-Krotzenburg (intake height 2 m) located near the power stations in accordance with a provision of the trade regulations was also connected to the measuring system. It analyses during west wind weather the outgoing air currents from the general area of Frankfurt, and during stagnating weather the influence of the power plants.

Measuring station for pollution caused by motor vehicles – Frankfurt center

City station "Rundschauhaus"

The city station "Rundschauhaus" is located in the center of Frankfurt at a three-lane main traffic road with a high traffic density.

The analysing equipment is installed at a height of 6 m in open-air cases on a building terrace. The intake point is a distance of 40 m from the next crossing and is installed at the center of the sidewalk 3.5 m above ground.

The analysis carried out at present comprises carbon monoxyde (Uras II), hydrocarbons (Fidas), nitrosogas (Picos $NO + NO_2$) and ozone (Mast). The measuring data are registered on two-channel recorders type Linecomp, with 0–20 mA input. The entire measuring equipment has a 0–20 mA outlet because of internal and external repeaters. The open-air accomodation of the equipment permits relatively short intake lines and good maintenance conditions which facilitate expecially the ozone- and NO_x-measurements. The installation of ventilators made it possible to keep the influence of varying outdoor temperatures and the warm-

Meßschränke durch die Sonneneinstrahlung konnte durch eingebaute Lüfter innerhalb der werksseitig angegebenen Toleranzgrenzen für die einzelnen Meßgeräte gehalten werden. Die Meßgeräte werden täglich durch Eichung bzw. Nullpunktnahme überprüft. Gleichzeitig erfolgt bei dieser regelmäßigen Wartung die Kontrolle der Schranktemperaturen durch Mini-Max-Thermometer.

Genaue Angaben über Meßprinzip und Wartungsaufwand der hier verwendeten Geräte sind dem Kapitel 3.2.2.2. zu entnehmen.

Mit dem Aufbau der Station wurde im Juli 1972 begonnen. Seit Anfang September wird routinemäßig im Dauerbetrieb gemessen.

City-Station – Rathenauplatz

Die City-Station Rathenauplatz wurde 20 Meter von der nächsten Kreuzung entfernt an einem der Verkehrs-Kreuzungspunkte Frankfurts errichtet. Hier kreuzen sich zwei Hauptstraßen mit nord-südlicher und ost-westlicher Hauptverkehrsrichtung. Die Spitzenbelastungen beider Straßenzüge in der morgendlichen und abendlichen „rush-hour" betragen über 1000 Kfz./Stunde. Die Station wurde im Januar 1972 mit einem CO-Analysator Typ Uras II ausgestattet. Die Probenahmehöhe betrug 5 Meter über Straßengrund. Im Oktober 1972 beginnende Bauarbeiten im Zuge der Erweiterung des Frankfurter U-Bahn-Netzes und einer damit verbundenen Sperrung des in ostwestlicher Richtung fließenden Verkehrsstromes führte zu einer starken Verminderung der Verkehrsbelastung. Da von diesem Zeitpunkt an keine Vergleichbarkeit der gemessenen CO-Konzentrationen mit denen der Vormonate gegeben war, wurde die Station im Oktober 1972 abgebaut.

3.2.2.4. Meßdauer und Meßhäufigkeit

Alle Messungen von Schadstoffen und meteorologischen Parametern des beim Institut für Meteorologie und Geophysik betriebenen Meßsystems erfolgen kontinuierlich. Ein Prozeßrechner fragt die Meßwerte in folgenden Zyklen ab:

	5 S	30 S	3 Min	30 Min
Windrichtung	x			
Windgeschwindigkeit	x			
Temperatur			x	
relative Feuchte			x	
atm. Luftdruck				x
Strahlungsbilanz		x		
Staubkonzentration			x	
alle luftchemischen Analysatoren		x		

Meßwertausgabe 30-Minutenmittelwerte mit zugehörigem 3 Minuten-Maximum und entsprechender Varianz.

Wartungsintervalle und Erfahrungen mit den Einzelgeräten sind bei den Analysengeräten (3.2.2.2.) mitgeteilt.

ing-up of the equipment cases by solar heat within the tolerable limits indicated by the manufacturer for the various equipment. The equipment is checked daily by calibration and zero point control. At the same time, this regular maintenance includes temperature control in the cases by Mini-Max thermometers.

Detailed information on measuring principle and maintenance effort for this equipment are contained in Chapter 3.2.2.2.

The installation of the station started in July 1972. Permanent routine measuring operations started at the beginning of September.

City station – Rathenauplatz

The city station "Rathenauplatz" was installed at a distance of 20 m from the next crossing at one of Frankfurt's intersections. It is a crossing of two main roads for north-south and east-west traffic. Peak traffic on both roads during the morning and evening rush hours amounts to more than 1,000 vehicles/hour. The station was equipped with a CO-analyser type Uras II in January 1972. The sampling height was 5 m above ground. Works for the extension of Frankfurt's underground network which started in October 1972 linked with a blocking of east-west traffic led to a substantial traffic reduction. Since from that date there was no longer any comparability between CO-concentrations measured at that time and those measured in previous months, the station was dismantled in October 1972.

3.2.2.4. Duration and frequency of measurements

All measurements of pollution and meteorological parameters carried out by the measuring system at the Institute of Meteorology and Geophysics are continuous. A process computer interrogates the data in the following cycles:

	5 hours	30 hours	3 min.	30 min.
Wind direction	x			
Wind velocity	x			
Temperature			x	
Relative humidity			x	
Atmospheric pressure				x
Radiation balance		x		
Dust concentration			x	
All air-chemical analysers		x		

Data output of 30 minutes average including 3 minutes maximum and appropriate variance.

As for maintenance intervals and experience with individual equipment see analysis equipment (3.2.2.2.).

3.2.3. Das Meßnetz im Betrieb

3.2.3.1. Zentrale Meßwerterfassung

Alle Meßgrößen wurden für den vorgesehenen Meßbereich auf eingeprägten Strom 0,5 mA bis 20 mA gebracht (s. o.), wobei der echte Meßwert Null meist bei 0,5 mA liegt. Bei der Zentrale liegen in jedem dieser Stromkreise der Registrierschreiber und ein genauer Bemessungswiderstand von 50 Ohm. Die daran entstehende Spannung von 25 mV bis 1 V ist die meßwertproportionale elektrische Größe, die der Prozeßrechner abfragt. Auf den Außenstellen wird jeder Meßwert vom eingeprägten Strom in eine Impulsfolge von 2 bis 12 Hz entsprechend 0 bis 20 mA umgewandelt und diese Impulse tasten eine Tonfrequenz (A_1) zwischen 1510 und 3140 Hz (10 Kanäle, entsprechend 10 Meßwerte übertragbar). Diese tonmodulierten Impulsfolgen (bis zu 10) gelangen über nur eine von der Außenstelle zur Zentrale durchgeschaltete Fernsprechleitung zu den dort installierten Tonempfängern, die je Tonkanal bzw. Meßkanal die Impulse über einen Meßwertempfänger wieder in einen eingeprägten Strom entsprechend dem Impulsabstand und damit der Meßgröße umwandeln. Im Stromkreis liegt (s. o.) ein Schreiber und der Bemessungswiderstand. Diese Frequenzmultiplex-Fernwirkeinrichtung erlaubt eine ständige Analogkontrolle der Meßwerte an der Zentrale, um eventuelle Fehler an den Meßwertgebern, die sich einer programmierbaren Prüfung durch den Rechner entziehen, zu erkennen. Die Sicherheit der Übertragung wurde durch eine Pegelregelung mit einem nicht-

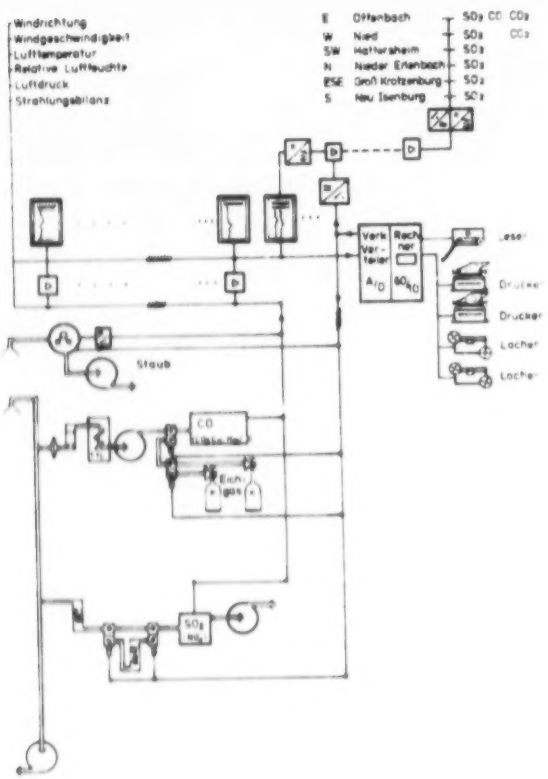
3.2.3. The measuring net in operation

3.2.3.1. Central inventory of measuring values

For the intended measuring range, all variables were brought on impressed current of 0.5 mA – 20 mA (see above description), the true zero mostly being at 0.5 mA. At the central station, each of these circuits is connected to the recorder and an accurate calibration resistance of 50 ohms. The generated voltage of 25 mV to 1 V is the electric variable proportionate to the data item interrogated by the process computer. At the regional stations, the impressed current converts each data item to an impulse sequence of 2 till 12 cps, corresponding to 0 – 20 mA, and these pulses key an audio frequency (A_1) ranging between 1510 and 3140 cps (10 channels, permitting transmission of 10 data items). While passing through only one telephone circuit connected from the regional stations to the central station these sound-modulated impulse sequences (up to 10) arrive at the sound receivers installed at the latter station, which for each audio channel or measuring channel reconvert, through a data receiver, the impulses to an impressed current, depending on the pulse spacing and thus on the measured quantity. The circuit is connected to a recorder and a calibration resistance (as described above). This frequence multiplex remote control system permits continuous analog data checking at the central station to identify possible data transmitter failures which defy programmable checking by the computer. The reliability of transmission was improved

Immissions-Meßstation Frankfurt/M. (Aufbau-Schema)
Immission measuring station Frankfurt/M. (construction scheme)

Abb. 1
Fig. 1



Windrichtung
Wind direction

Windgeschwindigkeit
Wind velocity

Lufttemperatur
Air temperature

Relative Luftfeuchte
Relative air moisture

Leser
Reader

Drucker
Printer

Locher
Perforator

Luftdruck
Air pressure

Strahlungsbilanz
Radiation balance

Verkehrs-Verteiler
Traffic distributor

Rechner
Calculator

Staub
Dust

Eichgas
Gauging gas

getasteten Pilotton verbessert, damit bei Änderung der Leitungseigenschaften die Verstärkung soweit erhöht wird, daß die Weiterverarbeitung der Signale gewährleistet wird. Auf den gleichen Fernsprechleitungen werden in umgekehrter Richtung von der Zentrale zu den Außenstellen Kommandos zur Ferneichung der Geräte erteilt (s. Abb. 1).

Eine Kombination von 2 aus 6 Tönen (Bereich 300 bis 1400 Hz, 20 Kanäle) in Verbindung mit einem Pilotton und einer Paritätstonprüfung schließt eine Fehlschaltung nahezu aus, zumal bei Ausfällen kein Kommando ausgelöst werden kann.

3.2.3.2. Datenverarbeitung

3.2.3.2.1. Prozeßrechner

Die stetig anfallenden Meßdaten werden von einem Prozeßrechner zu statistischen Kenngrößen verarbeitet. Seit März 1971 kommt der Prozeßrechner AEG 60-10 zum Einsatz. Es handelt sich um eine 16-K-Version (16 000-Worte-Speicher) mit eingebauter Realzeituhr, die die zeitliche Folge aller Datenerfassungs- und Verarbeitungsaufgaben steuert.
Die wesentlichen Aufgaben und Pflichten des Rechners sind die folgenden:

Meßwerterfassung und Korrektur

Die Meßwerterfassung wird mit dem rechnereigenen Analog-Digital-Wandler (Spannungs-Frequenz-Umformer) durchgeführt. Die Abfragezyklen der einzelnen Analogeingänge betragen aus physikalisch-meteorologischen Gründen 5 Sekunden, 30 Sekunden oder 3 Minuten. Jeder Meßwert durchläuft 4 Plausibilitätsprüfungen und gelangt nur dann zur Meßwertverarbeitung, wenn kein Fehler erkannt wird. Eine Verletzung der Prüfkriterien bewirkt eine Mißerfolgsmeldung auf der Protokoll-Schreibmaschine und verhilft somit zur raschen Auffindung des Fehlers.

Die vier Kriterien sind:

a) Prüfung, ob der Meßwert unter dem Nullpunkt liegt,
b) Prüfung, ob überhaupt ein Meßsignal anliegt,
c) Prüfung, ob ein oberer Grenzwert überschritten ist,
d) Prüfung, ob eine unerlaubte Meßsignaländerung stattgefunden hat (Gradientenkontrolle).

Ein Meßwert, der alle Prüfungen ohne Beanstandung durchlaufen hat, wird mit den Eichfaktoren der letzten Eichung korrigiert und zu statistischen Kenngrößen verarbeitet.

Meßwertverarbeitung und Protokollierung

Alle lufthygienischen Aussagen werden, wie in der BRD üblich, auf 30-Minuten-Mittelwerte bezogen. Deshalb werden zunächst aus den aktuellen Meßwerten 3-Minuten-Mittelwerte und daraus 30-Minuten-Mittelwerte gebildet. In jeder 30-Minuten-Protokollierung werden außerdem noch das maximale 3-Minuten-Mittel und die Varianz (Quadrat der Streuung) der 3-Minuten-Mitttelwerte auf den 30-Minuten-Mittelwert bestimmt. Im 24-Stunden-Protokoll (als längste Integrationszeit des Prozeßrechners) werden der Tagesmit-

by level adjustment using a nonkeyed pilot sound to ensure that in the event of changes in circuit parameters amplification will be increased to an extent permitting further processing of signals. The same telephone circuits are used in reverse direction to issue remote-control calibration commands from the central station to the regional stations (see Fig. 1).

A combination of 2 out of 6 sounds (range 300 till 1400 cps, 20 channels) in conjunction with a pilot sound and a parity sound check rule out switching failures almost completely, especially as no command can be triggered in the event of outages.

3.2.3.2. Data processing

3.2.3.2.1. Process computer

The continuously incoming data are processed by a process computer into statistical parameters. The process computer AEG 60-10 has been used since March 1971. This is a 16-K version (16,000 words store) into which a real time clock is installed which controls the chronological order of all data acquisition and processing tasks.
The essential tasks of the computer are as follows:

Scanning and correction

Data are scanned by an analog-digital converter (voltage-frequency-converter) which is part of the computer. For physical-meteorological reasons the individual analog inputs are interrogated in cycles of 5 seconds, 30 seconds and 3 minutes. Each data item passes 4 plausibility checks and reaches the stage of data processing only if no error has been found. If it fails the checking criteria, the failure is recorded on the protocol typewriter and the error can thus be traced rapidly.

The four checking criteria are:

a) whether the data is below the zero point,
b) whether there is any data signal at all,
c) whether an upper limit has been exceeded,
d) whether there has been any inadmissible change of data signals (gradient control).

A data item which has passed all checks without objection will be corrected with the calibration factors of the last calibration and processed into statistical parameters.

Data processing and recording

As customary in the Federal Republic of Germany, all air-hygienic outputs are referring to 30 minutes average data. Therefore the actual data are at first transformed into 3 minutes average data and these again into 30 minutes average data. Moreover, each 30 minutes protocol determines also the maximum 3 minutes average and the variance (dispersion square) of the 3 minutes average with reference tc the 30 minutes average. The 24 hours protocol (as the longest integration time of the process computer) shows the daily

telwert, das 30-Minuten-Maximum und die Varianz der 30-Minuten auf die 24 Stunden ausgegeben. Bei jeder Mittelwertbildung wird geprüft, ob eine statistisch hinreichende Zahl an Einzelwerten vorhanden ist.

Tab. 1 zeigt das Halbstundenprotokoll, das am 140. Tag des Jahres um 10.30 Uhr (vergleiche 2. und 3. Spalte) vom Rechner ausgegeben wurde. Die ersten drei Zeilen stellen die Werte der Zentralstation, die zweiten drei Zeilen die der Außenstation dar. Eine in der ersten Spalte befindliche Kennung zeigt die Art der Kenngröße an:
Bei der jeweils ersten Zeile handelt es sich um die 30-Minuten-Mittelwerte, bei der jeweils zweiten Zeile um die 3-Minuten-Maxima in der betreffenden halben Stunde; die jeweils dritte Zeile stellt die Varianzen der 3-Minuten-Mittelwerte auf den 30-Minuten-Mittelwert dar.

Weiterhin werden alle Daten mit Hilfe eines Schnellochers auf Lochstreifen gestanzt. Dieser Lochstreifen dient als Datenträger für die weitere Bearbeitung des Gesamtmaterials auf einer Großrechenanlage.

Eichung der Immissions-Meßgeräte

Alle 23 Stunden wird vom Rechner eine Eichung der Immissions-Meßgeräte veranlaßt. Dabei werden nacheinander 2 Eichgase mit bekannten Konzentrationen von den Meßgeräten analysiert. Am Ende eines jeden Eichintervalls erfaßt der Rechner die „Eich-**Istwerte**" und benutzt sie mit den bekannten „Eich-**Sollwerten**" zur Berechnung der Empfindlichkeit und der Nullpunktverschiebung des jeweiligen Analysengerätes.

average, the 30 minutes maximum and the 30 minutes variance with reference to 24 hours.

Before establishing an average data item, it is examined whether a statistically sufficient number of individual items is available. Table 1 shows the 30 minutes protocol provided by the computer on the 140th day of the year at 10,30 hrs (see 2nd and 3rd column). The first three lines show the data of the central station, the next three lines those of the regional stations. The identification in the first column shows the nature of the parameter: each first line shows the 30 minutes average data, each second line the 3 minutes maxima during the 30 minutes concerned; each third line shows the variances of the 3 minutes average data with reference to the 30 minutes average.

Moreover, all data are punched on tape by a high-speed tape transmitter. This punched tape serves as a data record for further processing of the entire material on a mass computer.

Calibration of the immission measuring equipment

Every 23 hours the computer has the immission measuring equipment calibrated. This means that the measuring equipment analyses consecutively 2 calibration gases whose concentration is known. At the end of each calibration interval the computer absorbs the true calibration data and uses them together with the known calibration rate data to calculate the sensitivity and the null drift of the analysing equipment concerned.

30-Minuten-Protokoll **Tab. 1:**

30 minutes record **Table 1:**

21	140	1030	030	035	148	513	019	332	072	301	032	012	332	026
31	140	1030	000	068	152	521	000	401	168	310	035	029	333	029
41	140	1030	00750	00146	00000	00000	00000	02304	03757	00029	00006	00036	00001	00003
22	140	1030	016	354	031	000	318	020	008	007	027	034	000	000
32	140	1030	020	357	041	000	320	023	011	008	030	036	000	000
42	140	1030	00002	00002	00037	00000	00002	00001	00001	00001	00006	00002	00000	00000

Verhinderung des Datenverlustes nach Stromausfall

Um den kontinuierlichen Betrieb der Luftüberwachungsanlage zu gewährleisten, sorgt nach einem Stromausfall eine Wiedereinschaltautomatik dafür, daß sowohl der Prozeßrechner als auch die Peripheriegeräte wieder einsatzfähig sind. Von einer batteriegepufferten Quarzuhr mit Zeitcode-Nebenuhr erhält der Rechner nach Stromwiederkehr die BCD-verschlüsselte Realzeit, so daß ein neuer Systemstart zeitgerecht erfolgen kann. Zu Beginn der nächsten halben und vollen Stunde wird die Datenverarbeitung derjenigen Komponenten wieder aufgenommen, die keine Einlaufzeit benötigen. Die Analysengeräte brauchen jedoch nach einem Stromausfall wegen fehlender Thermostatisierung eine Einlaufzeit von etwa 1,5 Stunden; nach dieser Zeit wird rechnerseitig eine Eichung angestoßen, so daß 2 Stunden nach Stromwiederkehr das Gesamtsystem wieder normal arbeitet.

Prevention of data losses by power failure

In order to guarantee the continuous operation of the air survey system a hold-in circuit ensures that both the process computer and the peripheral unit can resume operation after a power failure. Whe the power returns the computer receives the binary-coded decimal representation of the real time from a quartz clock combined with a time-code auxiliary clock fed by a buffer battery so that the system can start again at the right time. At the beginning of the next half or full hour the data processing of those components will be resumed which do not require any warm-up time. Because of the lacking thermostat regulation the analysing equipment requires a warm-up time of about one hour and a half after a power failure; after this time the computer triggers calibration so that the total system will work normally again two hours after the return of power.

Immissionsgrenzwert-Überwachung

Weiterhin vergleicht der Rechner die aktuellen Mittelwerte mit den im Smogalarmplan festgelegten Immissionsgrenzwerten, bzw. mit den maximalen Immissions-Konzentrationen (MIK-Werte). Eine Überschreitung führt zu einer Hinweismeldung auf der Protokoll-Schreibmaschine und zum Schließen eines Kontaktes, mit dem auf einer Schautafel ein Signal gesteuert wird. Mit Hilfe dieser Tafel kann die lufthygienische Situation im Überwachungsgebiet anschaulich demonstriert werden.

Erfahrungen mit dem Prozeßrechner

Die von den Mitarbeitern der Pilotstation erstellte Systemanalyse (Met. Inst. 1972) ermöglichte eine relativ rasche Programmierung und Inbetriebnahme des Rechners. Seit September 1971 erledigt der Prozeßrechner die Datenverarbeitung zur vollen Zufriedenheit.

Die Bedienung des Rechners ist leicht zu erlernen. Änderungen der Meßstellengrößen, wie z. B. Eichwerte, können mit Hilfe von Korrespondenzprogrammen vorgenommen werden.

Die Anlage, Rechner und Peripheriegeräte, wird einmal pro Monat gewartet. Diese Zeitspanne ist voll ausreichend. Am Rechner mit Zentraleinheit und Verkehrsverteiler traten während eines Jahres praktisch keine Fehler auf; die Lochstreifenstanzer jedoch erwiesen sich als äußerst fehlerträchtig. Wartungsintervalle und Erfahrungen mit den Analysengeräten sind in Kap. 3.2.2.2. mitgeteilt.

Zusammenfassend lassen sich folgende Vorteile des vollautomatischen Betriebes des Meßnetzes mit einem Prozeßrechner klar erkennen:

Vollautomatische Datenverarbeitungs-Anlage,
Hohe Genauigkeit der Meßdaten,
Meßwerte aller Stationen aktuell verfügbar.

3.2.3.2.2. Großrechner

Die mit Hilfe des Prozeßrechners erstellten Lochstreifen dienen als Datenträger für die weitere Bearbeitung des Datenmaterials auf einer Großrechenanlage. Zunächst werden die Daten auf Magnetband überspielt, vervollständigt (falls Ausfallzeiten vorhanden sind) und zu Monaten zusammengefügt. Die Datenkorrektur beendet die Datenaufbereitung und ermöglicht folgende routinemäßigen Berechnungen aller Komponenten, soweit dies sinnvoll ist.

1. Häufigkeitsverteilungen für beliebige Zeiträume:
   Absolute und relative Häufigkeitsverteilung, Summenhäufigkeitsverteilung, Perzentile, arithmetischer Mittelwert mit Streuung, geometrischer Mittelwert;
2. mittlerer täglicher Gang für beliebige Zeiträume:
   Tagesmittelwerte, Monatsmittelwerte, mittlerer Tagesgang (tabellarisch und zeichnerisch).
3. Korrelation und Regression beliebter Komponenten über beliebige Zeiträume:
   Mittelwerte, Varianzen, Streuungen, Standardfehler, Kovarianz, Korrelationskoeffizient, Regressionsgleichungen $y = f(x)$ und $x = f(y)$.

Immission limit – control

Moreover, the computer compares the actual average data with the immission limits established in the smog alert plan, and with the maximum immission concentrations (MIK data). Any excess leads to a report on the protocol typewriter and to the establishment of a contact which controls a signal on signal panel. With the aid of this panel the air-hygienic situation in the survey area can be illustrated.

Experience with the process computer

The system analysis prepared by the members of the pilot station (Met. Inst. 1972) permits the relatively rapid programming and operation of the computer. Since September 1971 the process computer has processed the data fully satisfactorily.

Handling of the computer can be easily learned. Data changes such as calibration data can be made by using corresponding programmes.

The equipment, computer and peripheral units, are serviced once a month. This servicing interval is fully sufficient. Practically no error occured on the computer and its central processing unit and distributor during one year; the tape punchers, however, proved to be very error-prone. Servicing intervals and experience with the analysing equipment are shown in chapter 3.2.2.2.

Summing up, it can be said that the fully automatic operation of the measuring network, using a process computer, clearly has the following advantages:

Fully automatic data processing system,
High accuracy of measured data,
Measuring data of all stations are available at any time.

3.2.3.2.2. Electronic computer

The punched tapes obtained from the process computer serve as data carrier for further data processing in a mass computer system. First the data are converted on a magnetic tape, completed (if there is any down-time) and combined into months. Data patch terminates data processing and permits the following routine calculation of all components as far as useful:

1. Distribution of frequency for any period:
   Absolute and relative frequency distribution, cumulative frequency distribution, percentages, arithmetic average and scattering, geometric average.
2. Average daily operation for any period:
   Average daily data, average monthly data, average daily operation (tabulated and in charts).
3. Correlation and regression of components for any period:
   Average data, variances, scattering, standard errors, co-variance, correlation coefficient, regression equations $y = f(x)$ and $x = f(y)$. Fig. 2 shows

Februar 1971
February 1971

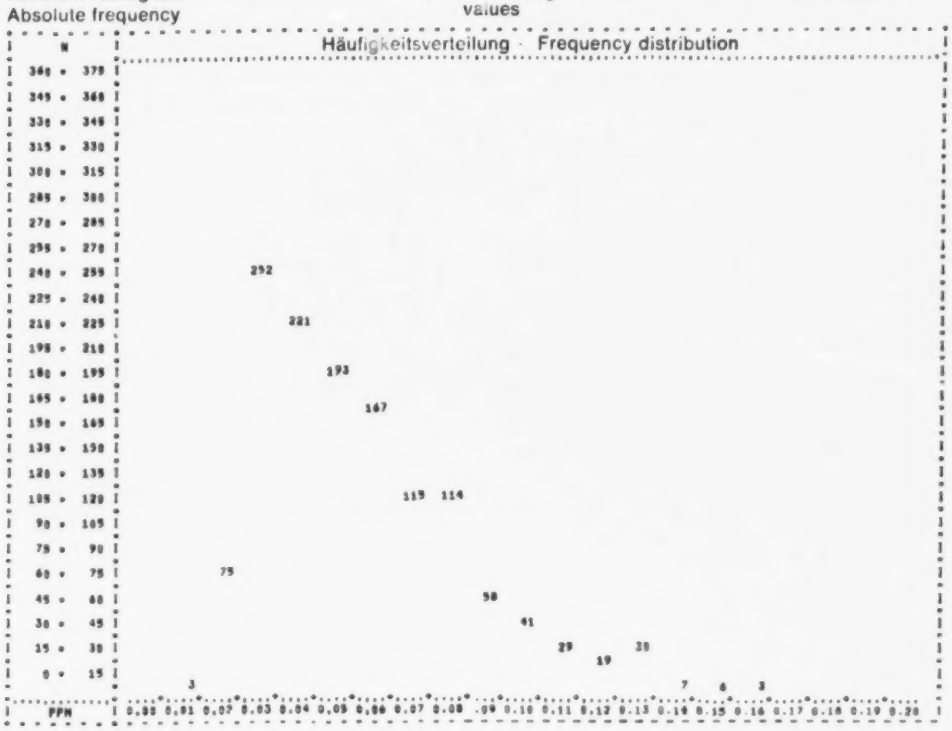
Schwefeldioxid 30-min-Mittelwerte
Sulfur dioxide 30-min-mean values

Zentralstation
Central Station

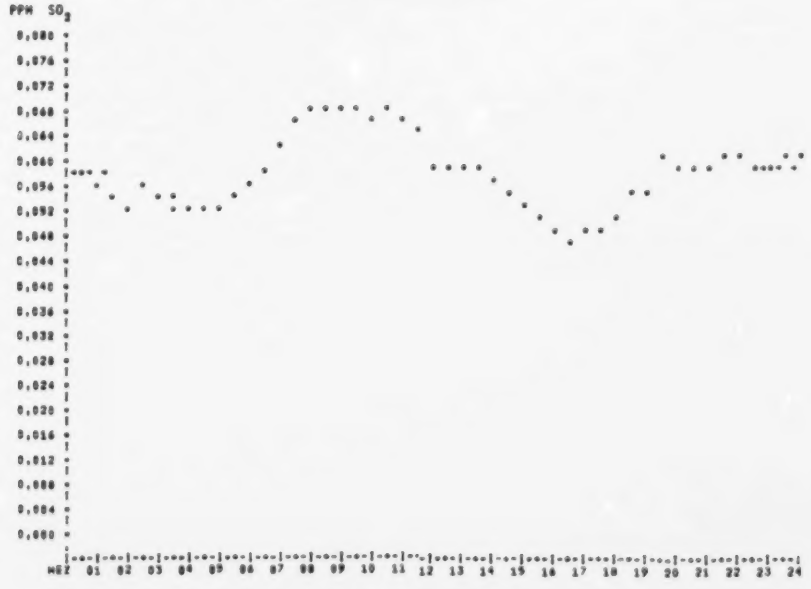
Abb. 2
Fig. 2

(1344 Meßwerte •• 1333 brauchbar •• 11 nicht brauchbar)
(measuring values useful not to be used)

Absolute Häufigkeit
Absolute frequency



Mittlerer Tagesgang
Mean diurnal variation



• Relativ zum Tagesmittel (dargestellt relativ zum Tagesmittel •—•)
Relativ to daily mean (illustrated relatively to daily mean)

Die Abb. 2 zeigt die beiden im Line-Printer-Verfahren erzeugten Darstellungen der absoluten Häufigkeit und des mittleren täglichen Ganges am Beispiel des Schwefeldioxids.
Für Einzelauswertungen steht weiterhin ein Tischrechner mit umfangreicher Peripherie zur Verfügung. Es handelt sich um den Tischrechner Hewlett-Packard 9810 A mit Lochstreifenleser, Teletype und Plotter.

as an example for sulfur dioxide the two representations of absolute frequency and of the average daily operation made under the Line-Printer procedure.
Moreover, a table computer with an extensive peripherial range is available for single item scoring. It is a table computer Hewlett-Packard 9810 A with tape reader, teletype and plotter.

3.2.4. Ergebnisse der Immissionsmessungen

Die im Kapitel 3.2.3.2.2. beschriebenen routinemäßigen Auswertungen ermöglichen die Komprimierung des Datenmaterials zu wenigen kennzeichnenden Größen. Im folgenden sollen daher die Häufigkeitsverteilungen und die mittleren täglichen Gänge der kontinuierlich gemessenen Komponenten Schwefeldioxid (SO_2), Schwebstaub, Stickoxide (NO_x) und Kohlenmonoxid (CO) sowie einige Sonderauswertungen dargestellt werden. Der Bearbeitungszeitraum beginnt am 1. Juli 1971 und endet am 30. Juni 1972. Dabei wurde das Datenmaterial nach Heizperiode (Oktober bis März) und vorwiegend heizfreier Periode (April bis September) getrennt.

3.2.4. Results of immission measurements

The routine scoring described in paragraph 3.2.3.2.2. permits the compression of the data material into a few typical data items. The frequency breakdown and the average daily development of the continuously measured components sulfur dioxide (SO_2), dispersed dust, nitrogen oxide (NO_x) and carbon monoxide (CO) as well as some special scorings are shown in the following paragraphs. The reference period starts on 1 July 1971 and ends on 30 June 1972. The data material was seperated into two parts: for the heating period (October-March) and the predominantly non-heating period (April–September).

3.2.4.1. Schwefeldioxid

Die Summenhäufigkeitsverteilungen der SO_2-Konzentration (Abb. 3 – 9) verläuft an den sieben Meßstellen in der Region Untermain jeweils für die Heizperiode und für die heizfreie Periode etwa parallel, jedoch ist im Bereich hoher Konzentration deutlich eine zweite Verteilung überlagert. Die winterlichen Werte übersteigen die des Sommers beträchtlich, da in der Heizperiode die Emission aus Hausbrand und Kleingewerbe eine Konzentrationserhöhung bewirkt. Die größten Differenzen zwischen Sommer und Winter treten an der Zentralstation und im citynahen Bereich (Meßstellen Offenbach und Nied) auf, während an den übrigen Meßstellen vergleichbar geringere Unterschiede registriert werden. Tab. 2 verdeutlicht nochmals die Unterschiede an den einzelnen Stationen; neben dem arithmetischen Mittelwert von 1971/72 und

3.2.4.1. Sulfur dioxide

The cumulative frequency distribution of SO_2-concentrations (fig. 3–9) is about parallel in the seven measuring stations of the Untermain region during the heating and the non-heating period but in areas of great concentration there is clearly an overlapping second distribution. The winter data are clearly higher than those of the summer since the emission from domestic fuel and from fuel used by small trade enterprises causes an increase of concentration during the heating period. The greatest differences between summer and winter data were measured in the central station in the city area (measuring stations Offenbach and Nied), while relatively minor differences were registered at the other measuring stations. Table 2 again shows clearly the different data measured at the various stations; apart from the arithmetic average for

Tab. 2: **Statistische Kenngrößen der Schwefeldioxid-Konzentrationen (ppb) an 7 Stationen in der Region Untermain (Juli 1971 – Juni 1972)**

Table 2: **Statistical parameters of sulfur dioxide concentrations (ppb) at 7 stations in the Untermain region (Juli 1971 – June 1972)**

	Heizperiode				heizfreie Periode			
	Mittelwert	langjährig	50 %	97,5 %	Mittelwert	langjährig	50 %	97,5 %
	Heating period				Non-heating period			
	Average	Longterm-average	50 %	97.5 %	Average	Longterm-average	50 %	97.5 %
Zentralstation	68	63	58	152	26	20	18	61
Offenbach	39		30	104	22		13	78
Nied	52		40	143	25		15	71
Hattersheim	21		6	60	11		< 5	45
Nieder-Erlenbach	27		17	69	12		6	30
Groß-Krotzenburg	26		18	64	15		7	40
Neu-Isenburg	18		9	55	13		5	35

dem langjährigen Vergleichswert werden die 50%- und 97,5%-Werte der Summenhäufigkeitsverteilung gezeigt. Die hohen 97,5%-Werte während der heizfreien Periode an den Meßstellen Offenbach und Nied sprechen für eine starke Beeinflussung durch industrielle Großemittenten. Nimmt man den 97,5%-Wert der Summenhäufigkeit als Maß für die SO_2-Belastung an den Stationen, so ergibt sich für die Heizperiode folgende Reihenfolge von der größten bis zur kleinsten Schadgasbelastung:

Zentralstation, Nied, Offenbach, Nieder-Erlenbach, Groß-Krotzenburg, Hattersheim und Neu-Isenburg. In der heizfreien Periode kehren sich die Verhältnisse um; die Meßstellen in Industrie-Nähe erreichen die größten 97,5%-Werte: Offenbach, Nied, Zentralstation, Hattersheim, Groß-Krotzenburg, Neu-Isenburg und Nieder-Erlenbach.

Der Tagesgang der SO_2-Konzentration wird bestimmt durch den Gang der Emission und durch die Variation der meteorologischen Bedingungen, wie Windgeschwindigkeit und atmosphärische Stabilität.

Als Beispiel für den täglichen mittleren Gang der Schwefeldioxid-Konzentration wird in den Abb. 10, 11 und 12 jeweils der Konzentrationsverlauf vom Dezember 1971 für die Heizperiode und Juni 1972 für die heizfreie Periode gezeigt. Dabei ist wieder der Konzentrationsunterschied zwischen Winter und Sommer an der Zentralstation am größten, in Nieder-Erlenbach, am Rande des Großraumes Frankfurt a. M., am geringsten.

1971/72 and the longterm comparative data it shows the 50% and 97.5% data of the cumulative frequency distribution. The high 97.5% data during the non-heating period measured at the Offenbach and Nied stations prove the strong influence of major industrial emittors. Taking the 97.5% data item of cumulative frequency as a yardstick for the SO_2-concentration at the stations, the range from the highest to the lowest pollution rate is the following during the heating period:

Central station, Nied, Offenbach, Nieder-Erlenbach, Groß-Krotzenburg, Hattersheim and Neu-Isenburg. During the non-heating period the relation is reversed; the measuring stations near the industrial areas reach the highest 97.5% rates: Offenbach, Nied, central station, Hattersheim, Groß-Krotzenburg, Neu-Isenburg and Nieder-Erlenbach.

The daily SO_2-concentration depends on the emission and the variation of meteorological conditions, such as wind velocity and atmospheric stability.

As an example for the average daily SO_2-concentration, fig. 10, 11 and 12 show the varying concentrations in December 1971 for the heating period and in June 1972 for the non-heating period. Again the difference of concentration between winter and summer is the highest at the central station, the lowest at Nieder-Erlenbach on the periphery of the Frankfurt area.

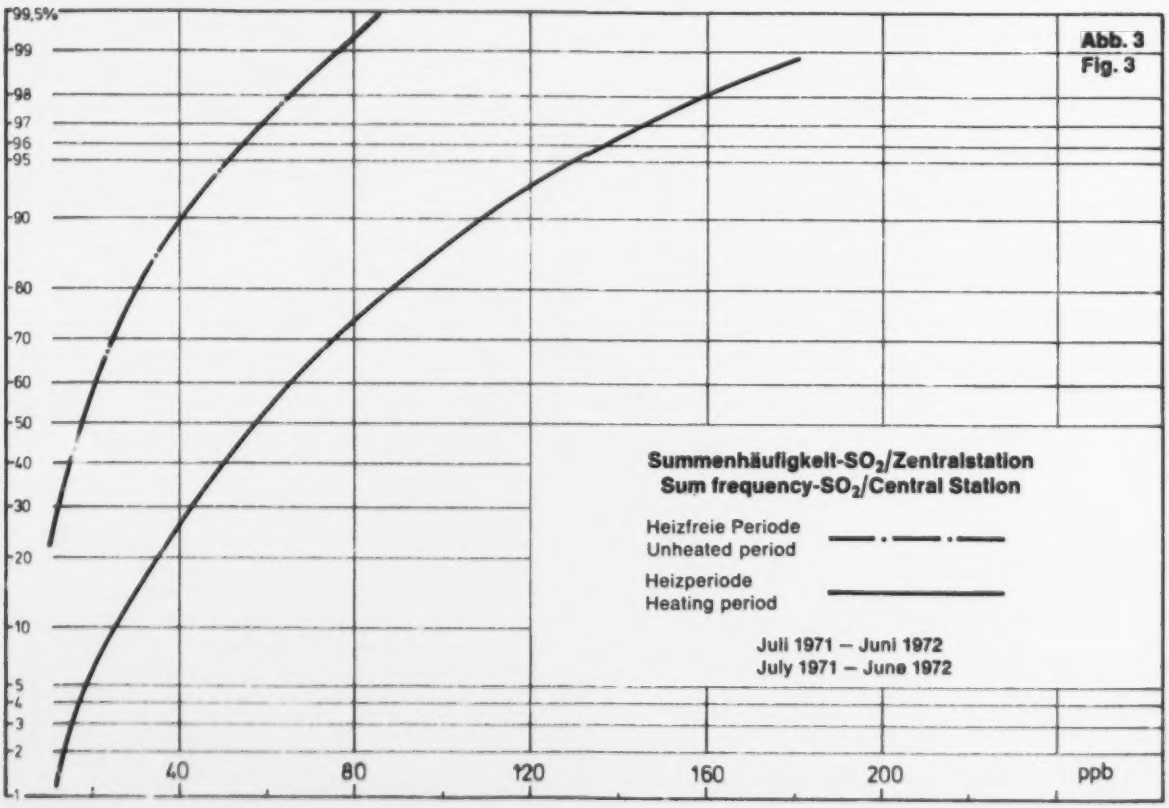


Abb. 3
Fig. 3

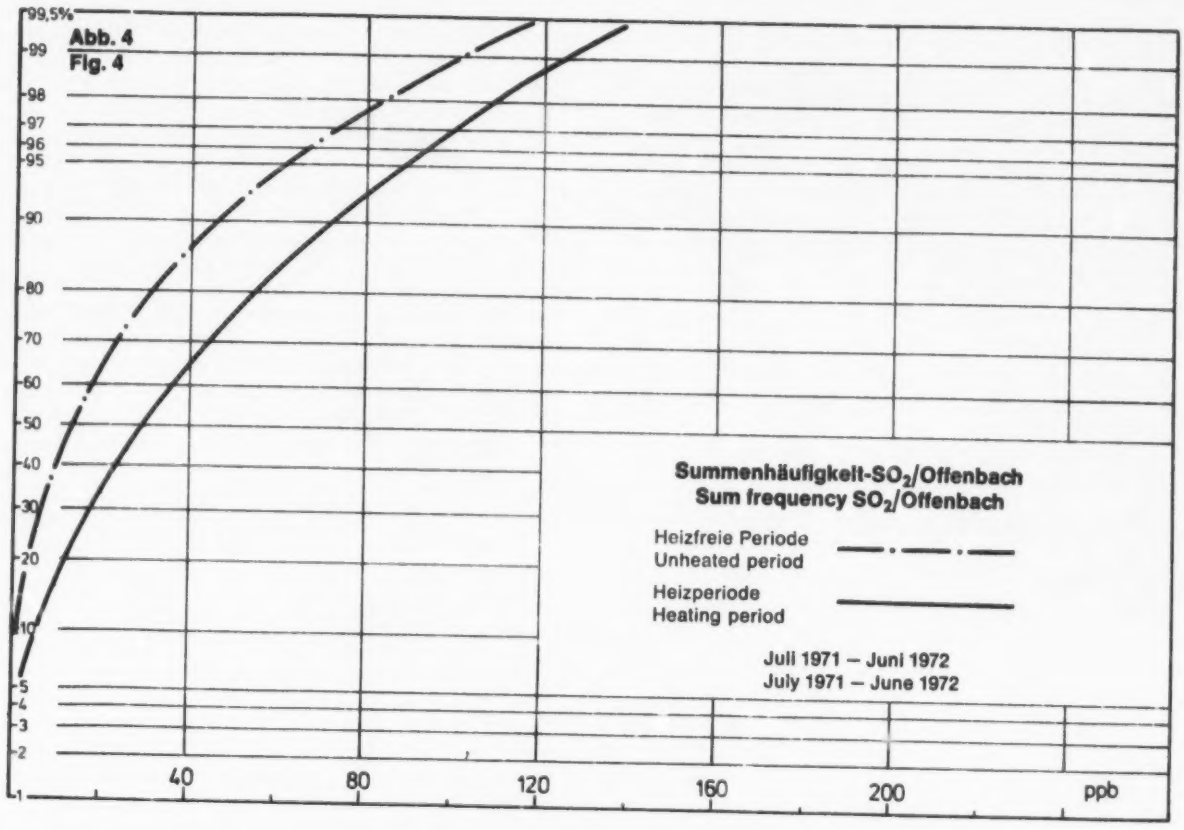


Abb. 4
Fig. 4

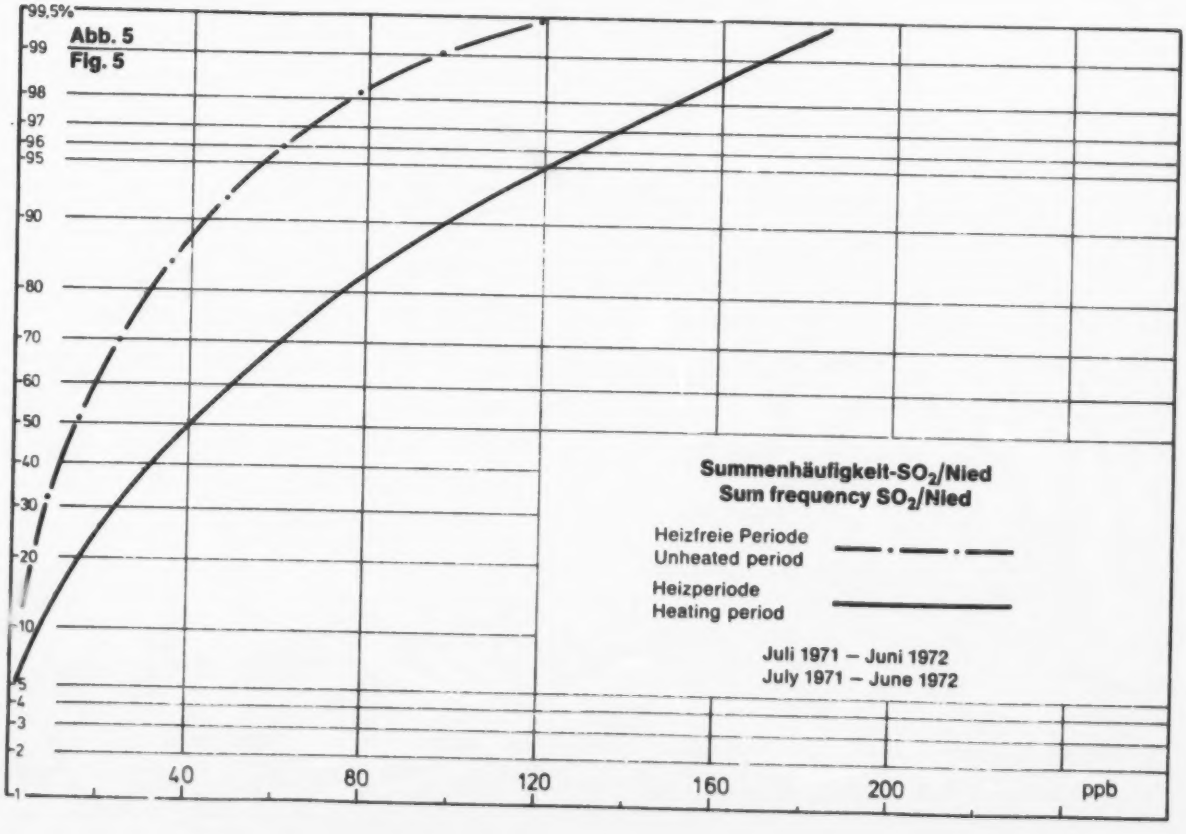
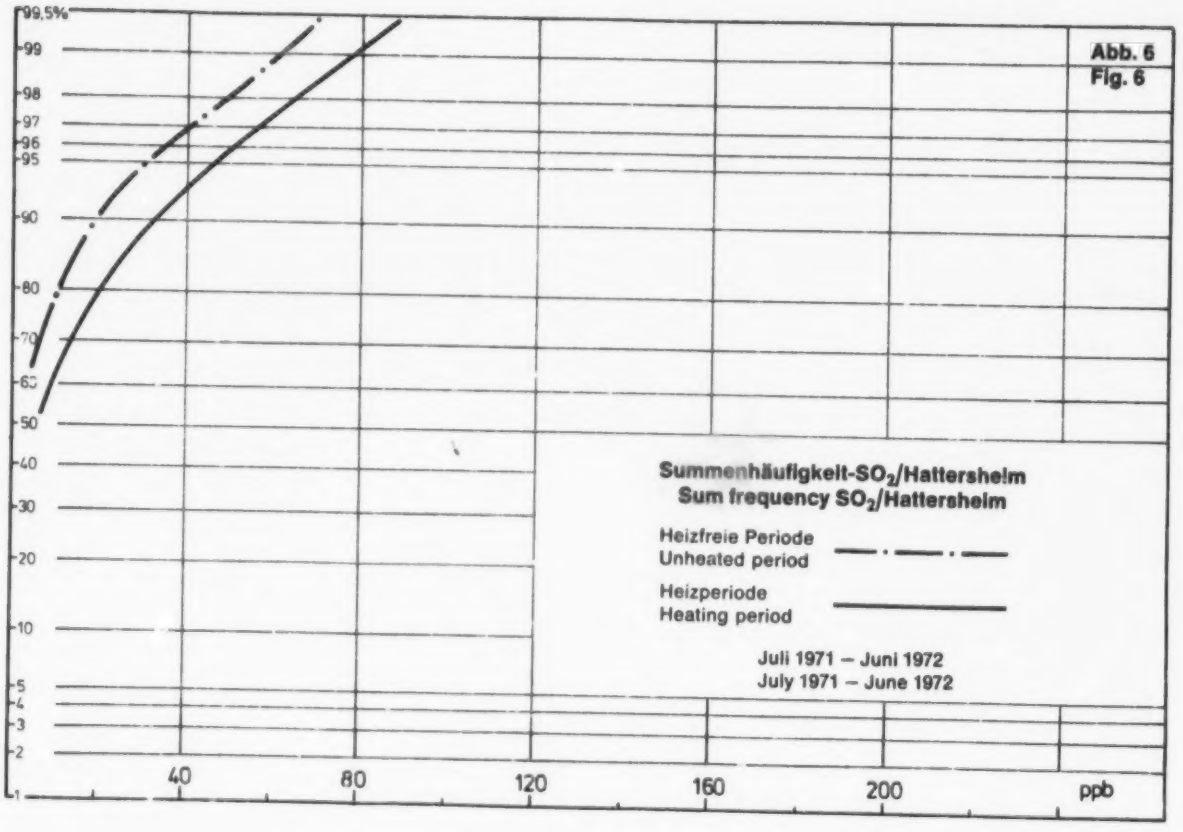
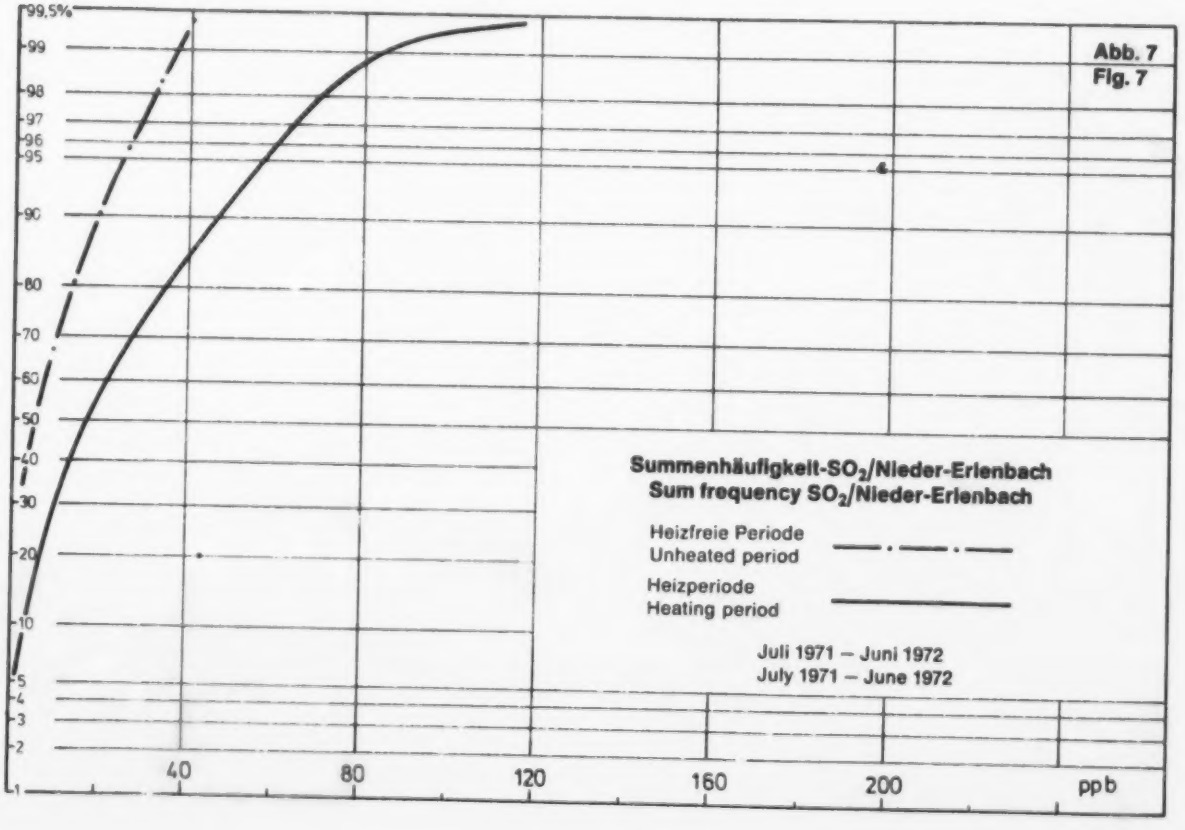


Abb. 5
Fig. 5


99,5%
99
98
97
96
95
90
80
70
60
50
40
30
20
10
5
4
3
2
1
40
80
120
160
200
ppb
Abb. 6
Fig. 6
Summenhäufigkeit-SO2/Hattersheim
Sum frequency SO2/Hattersheim
Heizfreie Periode
Unheated period
Heizperiode
Heating period
Juli 1971 – Juni 1972
July 1971 – June 1972


99,5%
99
98
97
96
95
90
80
70
60
50
40
30
20
10
5
4
3
2
1
40
80
120
160
200
ppb
Abb. 7
Fig. 7
Summenhäufigkeit-SO2/Nieder-Erlenbach
Sum frequency SO2/Nieder-Erlenbach
Heizfreie Periode
Unheated period
Heizperiode
Heating period
Juli 1971 – Juni 1972
July 1971 – June 1972

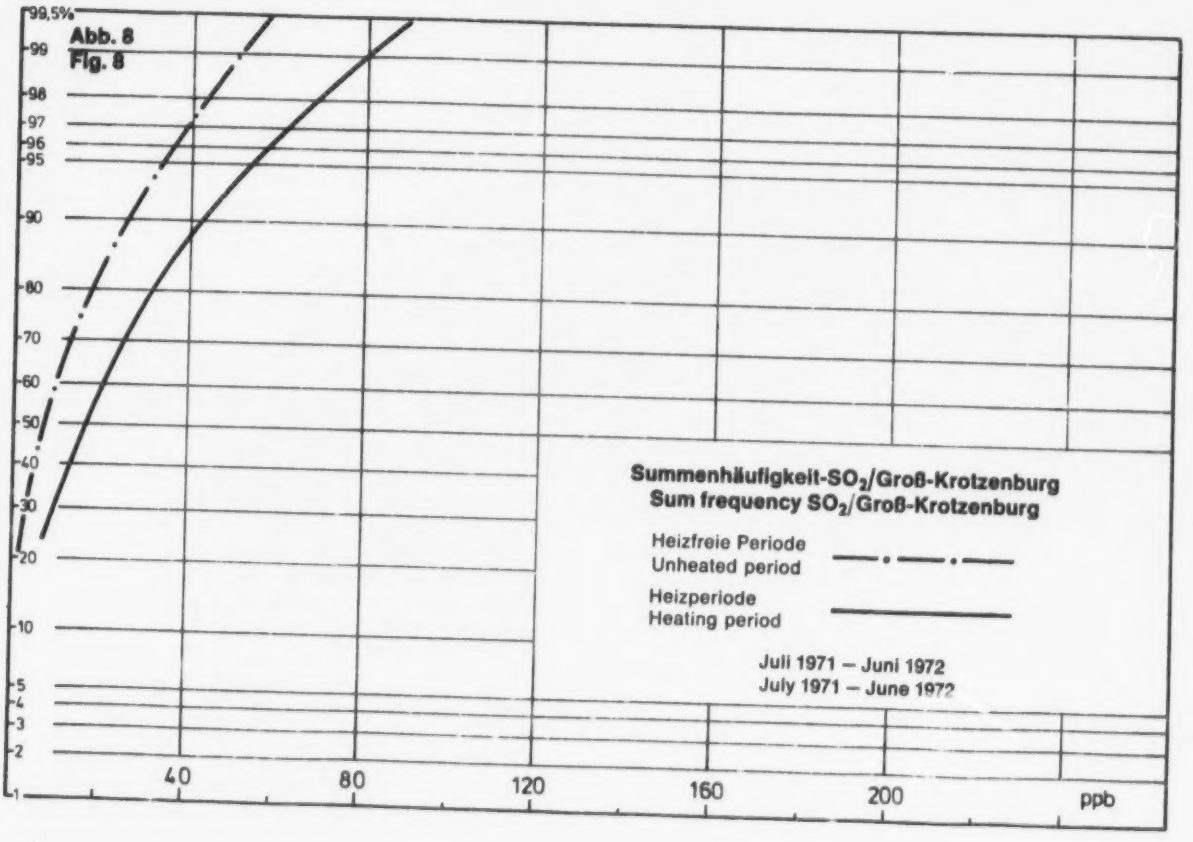


Abb. 8
Fig. 8

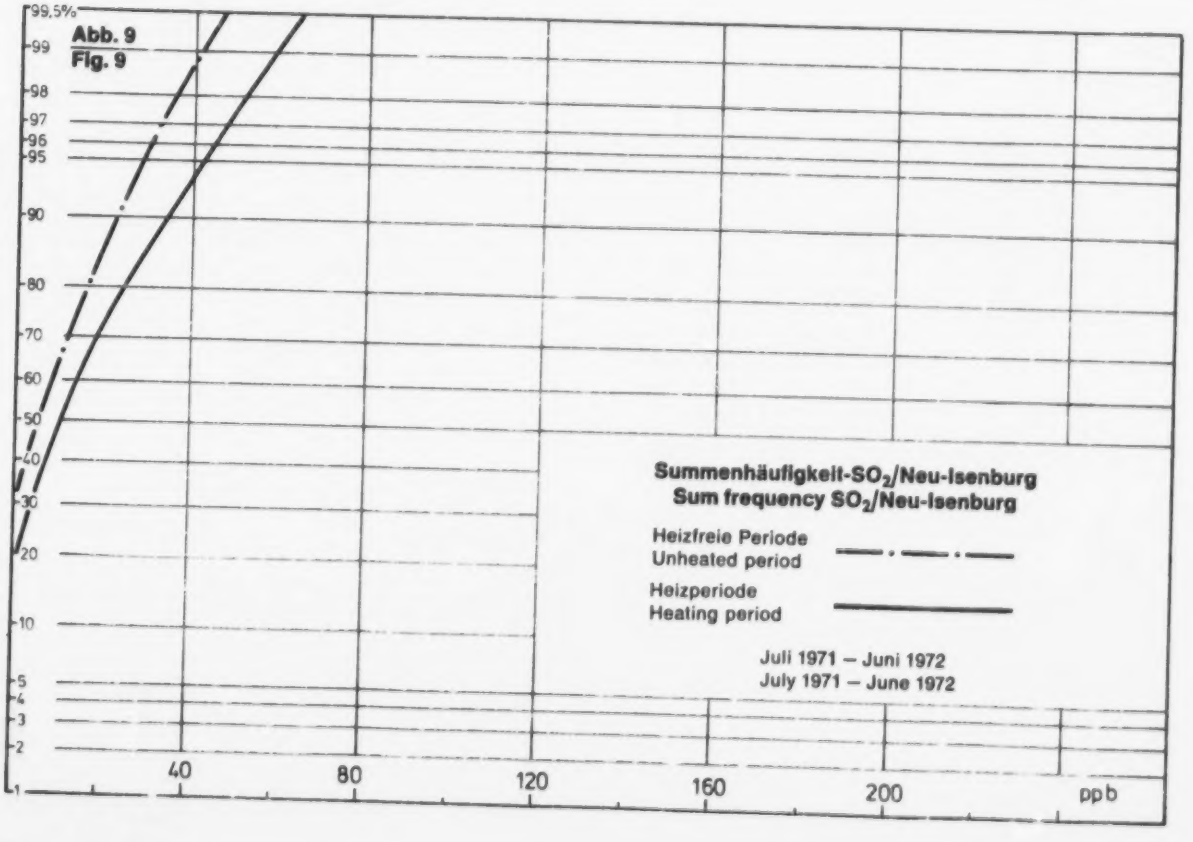
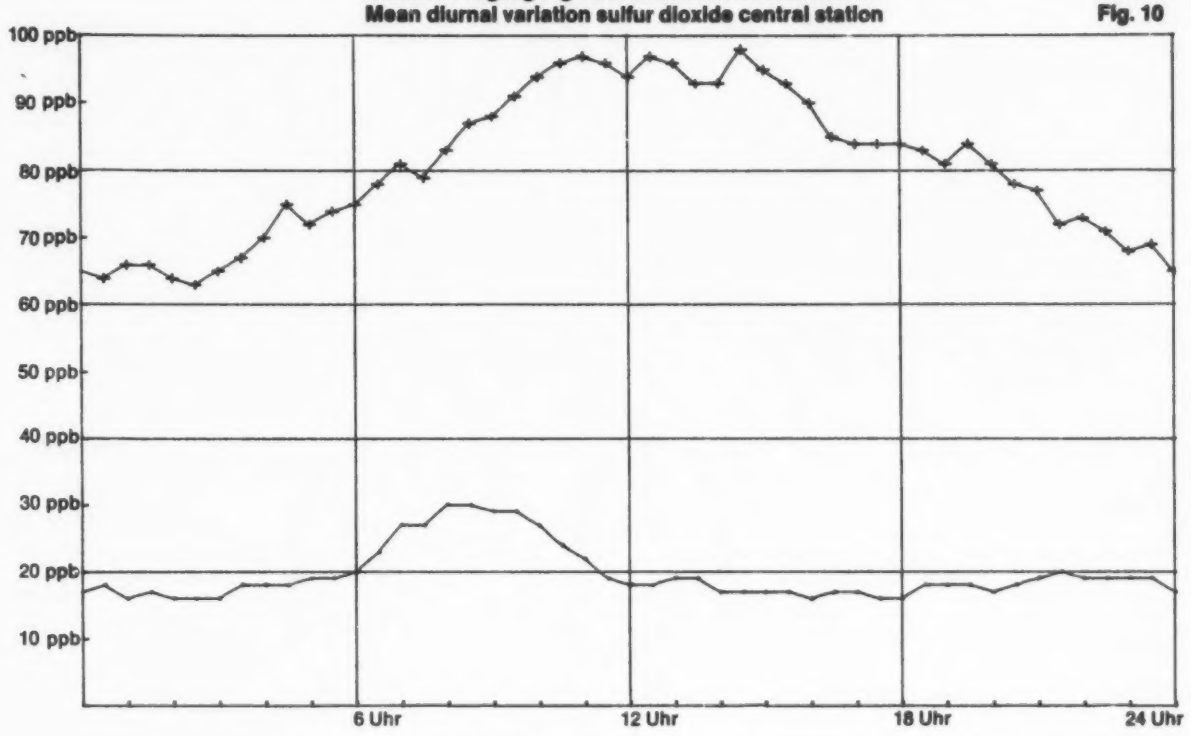


Abb. 9
Fig. 9

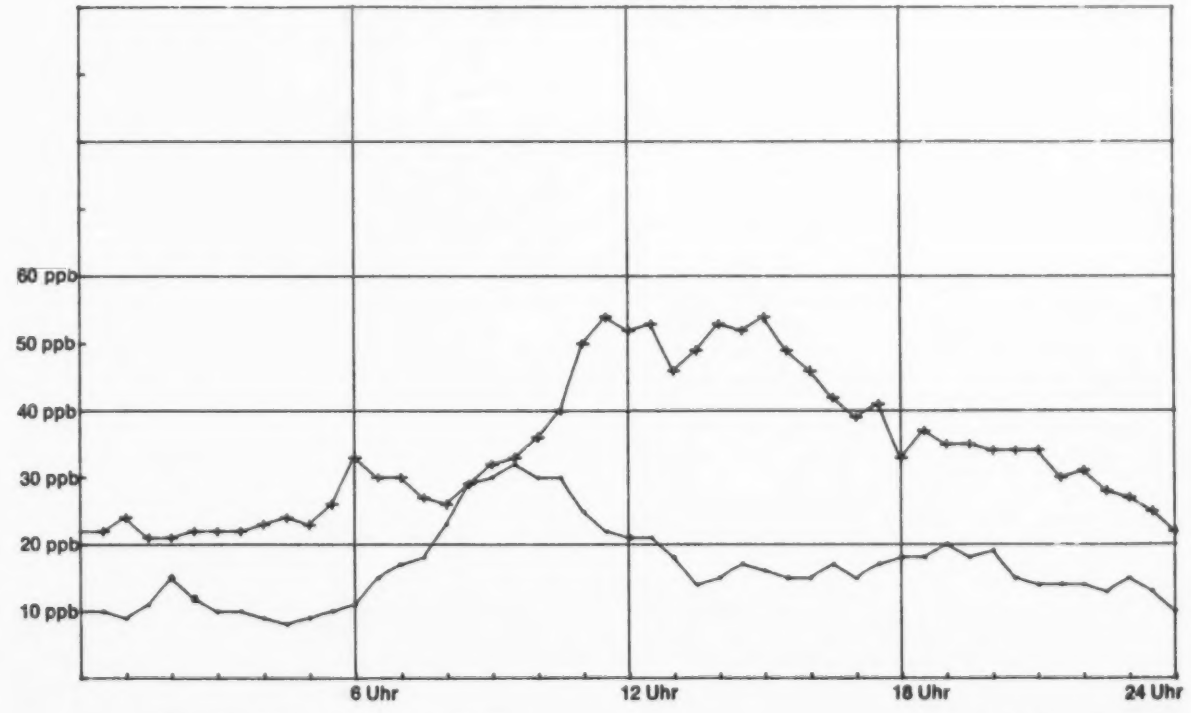
Mittlerer Tagesgang Schwefeldioxid Zentralstation **Abb. 10**
Mean diurnal variation sulfur dioxide central station **Fig. 10**



+ + + Dezember 1971 / December 1971 — — — Juni 1972 / June 1972

Pilotstation Frankfurt/Main
Pilot station Frankfurt/Main

Mittlerer Tagesgang Schwefeldioxid Nied **Abb. 11**
Mean diurnal variation sulfur dioxide Nied **Fig. 11**

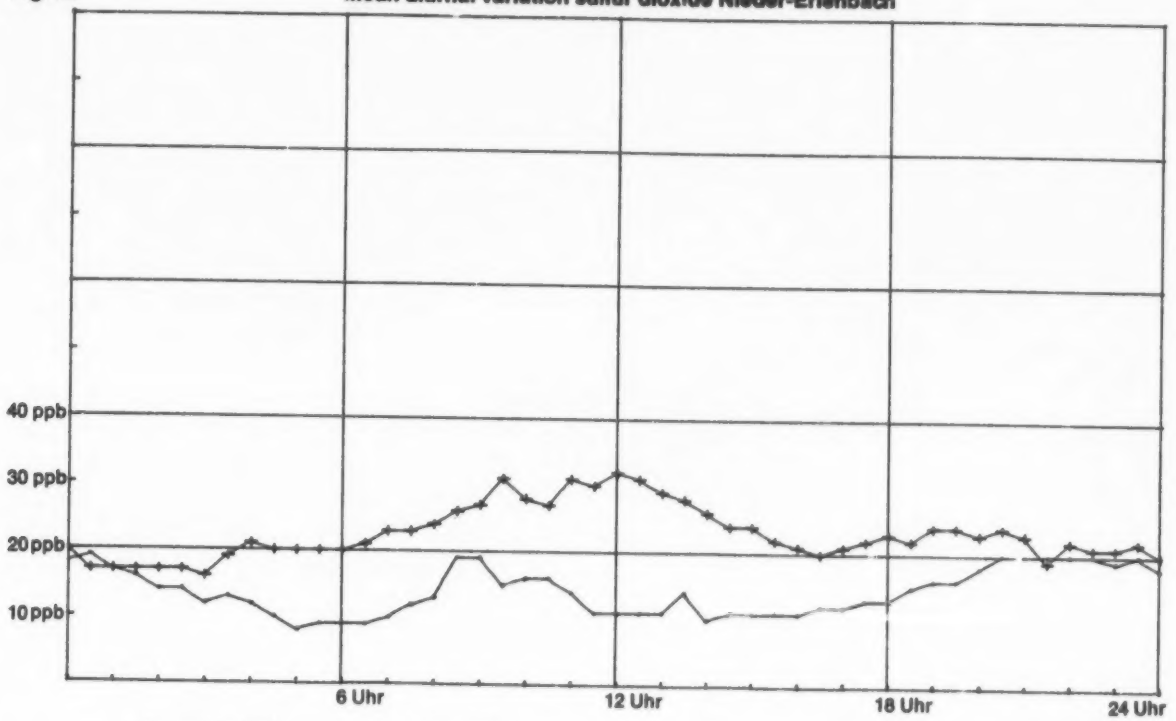


+ + + Dezember 1971 / December 1971 — — — Juni 1972 / June 1972

Pilotstation Frankfurt/Main
Pilot station Frankfurt/Main

Abb. 12
Fig. 12

Mittlerer Tagesgang Schwefeldioxid Nieder-Erlenbach
Mean diurnal variation sulfur dioxide Nieder-Erlenbach



Pilotstation Frankfurt/Main
Pilot station Frankfurt/Main

Eine langjährige Auswertung (Met. Inst. 1972) des mittleren täglichen Ganges von 1966 bis 1971 zeigte, daß sowohl während der Heizperiode als auch während der heizfreien Zeit eine Doppelperiode mit primärem Maximum am Vormittag und einem schwach ausgeprägten sekundären Maximum am Abend auftritt: dieser Sachverhalt bestätigt sich im Sommermonat an allen drei ausgewählten Stationen; während des Wintermonats jedoch veränderten meteorologische Bedingungen den langjährig zu erwartenden Konzentrationsverlauf, so daß die Konzentrationserniedrigung während der Mittagsstunden, der Zeit mit der stärksten Durchmischung, ausblieb.

Der Jahresgang der Schwefeldioxid-Konzentration ist ebenfalls eine Funktion von Emission und meteorologischer Ausbreitungsbedingungen. Die Abb. 13 des SO_2-Konzentrationsverlaufes während des Berichtszeitraumes zeigt einen deutlich ausgeprägten, einphasigen Jahresgang mit dem Minimum in den heizfreien Monaten und Maximum im Januar und Februar. Dabei ist die Amplitude an der Zentralstation (im Citybereich) am größten, an der Peripherie der Stadt am kleinsten und wegen unterschiedlicher Einflußgrößen am schwächsten ausgeprägt.

In einer Arbeit von Kaller (Kaller, R. S., 1972) konnte unter Berücksichtigung der Windrichtung die Bedeutung der Lage einer Meßstelle relativ zum Stadtkern, bzw. zum Emittenten nachgewiesen werden. Bei gegebener Windrichtung wird die Belastung an Schwefeldioxid größer, je mehr bebautes Gebiet im Luv der Meßstelle liegt. Anhand einer Einzelfallstudie kann

A long-term score (Met. Inst. 1972) of the daily average concentration from 1966 to 1971 showed that both during the heating and the non-heating period there was a double period with a primary maximum in the morning before noon and a weakly developing secondary maximum in the evening: this fact is confirmed for the summer month at all three selected stations. During the winter month, however, meteorological conditions changed the concentration to be expected over a large period so that there was no reduction of the concentration during the noon hours, the period when the air is most commingled.

The annual development of the SO_2-concentration is also the result of emission and conditions of meteorological diffusion. Fig. 13 of SO_2-concentration developments during the reference period shows a clear one-phase annual development with a minimum during the non-heating months and a maximum in January/February. The greatest amplitude has been measured at the central station (in the city area), and the lowest and because of different influences the weakest, at the outskirts.

In a study by Kaller (Kaller, R. S. 1972) the importance of the location of a measuring station in relation to the city center or to the emittor could be proved, taking into consideration the direction of the wind. The SO_2-pollution increases the more built-up areas are located on the windward side of the measuring station. This fact can be confirmed and clearly demonstrated on

dieser Sachverhalt bestätigt und anschaulich demonstriert werden. In Abb. 14 ist das SO_2-Immissionsfeld am 3. 12. 1971 um 12.00 Uhr dargestellt. Bei einem Nordostwind von 2,7 m/sec überstreicht die Luft von Nieder-Erlenbach kommend die Zentralstation, erreicht schließlich Nied und später Hattersheim. Ein Luftmassenpaket wird also auf dem Weg von Nieder-Erlenbach bis Hattersheim zunehmend stärker mit SO_2 angereichert. Andererseits muß aber auch die Abbaurate des SO_2 während des Transportes berücksichtigt werden. Die ausgezogene Linie in Abb. 14 zeigt das absolute Konzentrationsniveau des SO_2 mit Maximum in Nied und einem glockenförmigen Abfall nach der Peripherie hin, wie bereits Weber (Weber, E., 1970) für Frankfurt a. M. feststellen konnte. Die gestrichelte Linie stellt die 97,5 %-Werte der Summenhäufigkeitsverteilung dar. Der größte 97,5 %-Wert tritt in der Stadtmitte, der geringste am Rande des Großraumes Frankfurt auf.

Der von Nieder-Erlenbach nach Hattersheim (fast) stetig größer werdende Abstand zwischen dem aktuellen Konzentrationsniveau und dem 97,5 %-Niveau verdeutlicht die steigende Belastung an SO_2. Die rechte Ordinate zeigt die Relativkonzentration, dargestellt als Quotient aus absoluter Konzentration und 97,5 %-Wert-Konzentration der jeweiligen Station. Die strichpunktierte Linie steigt von Nieder-Erlenbach bis Hattersheim an, d. h., die Relativkonzentration ist im Lee der Stadt maximal, im Luv minimal.

the basis of an individual case study. Fig. 14 shows the SO_2-immission field on 3 December 1971 at 12.00 hours. At a north-east wind of 2.7 m/sec. the air, coming from Nieder-Erlenbach, passes the central station, and reaches Nied and later Hattersheim. A mass of air is thus increasingly enriched with SO_2 on its way from Nieder-Erlenbach to Hattersheim. On the other hand, the SO_2 disintegration rate on the way has also to be taken into consideration. The solid line in fig. 14 shows the absolute SO_2-concentration level with its maximum at Nied and a bell-shaped decrease towards the periphery, as it was stated already for Frankfurt by the Weber study (Weber, E. 1970). The dash line represents the 97.5 % data of the cumulative frequency distribution The highest 97.5 % item was recorded in the center, the lowest at the outskirts of the Frankfurt region.

The (almost) continuously growing distance between the actual concentration level and the 97.5 % level from Nieder-Erlenbach to Hattersheim shows the increasing SO_2-pollution. The right-hand ordinate shows the relative concentration, as quotient of absolute concentration and 97.5 % concentration at each station concerned. The chain-dot line rises from Nieder-Erlenbach to Hattersheim, i. e. the relative concentration is maximum on the leeward side of the city, and minimum on the wind side.

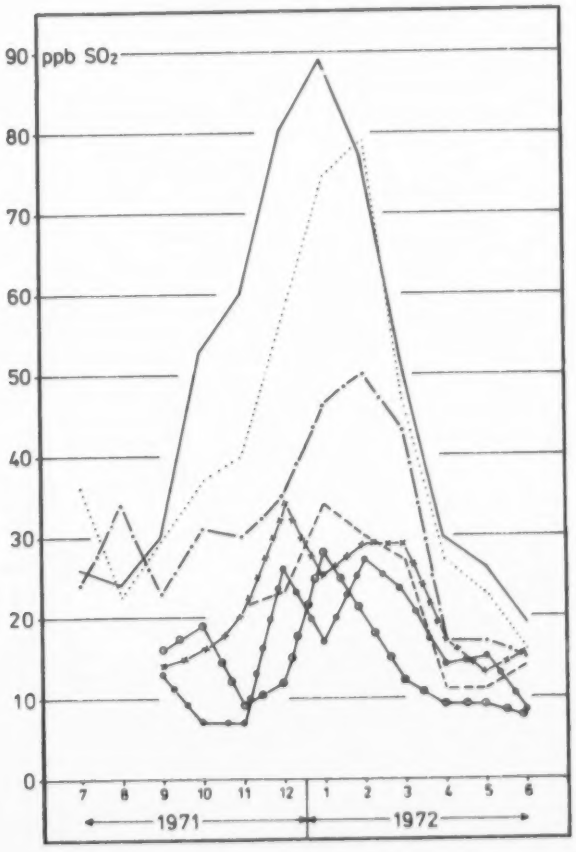


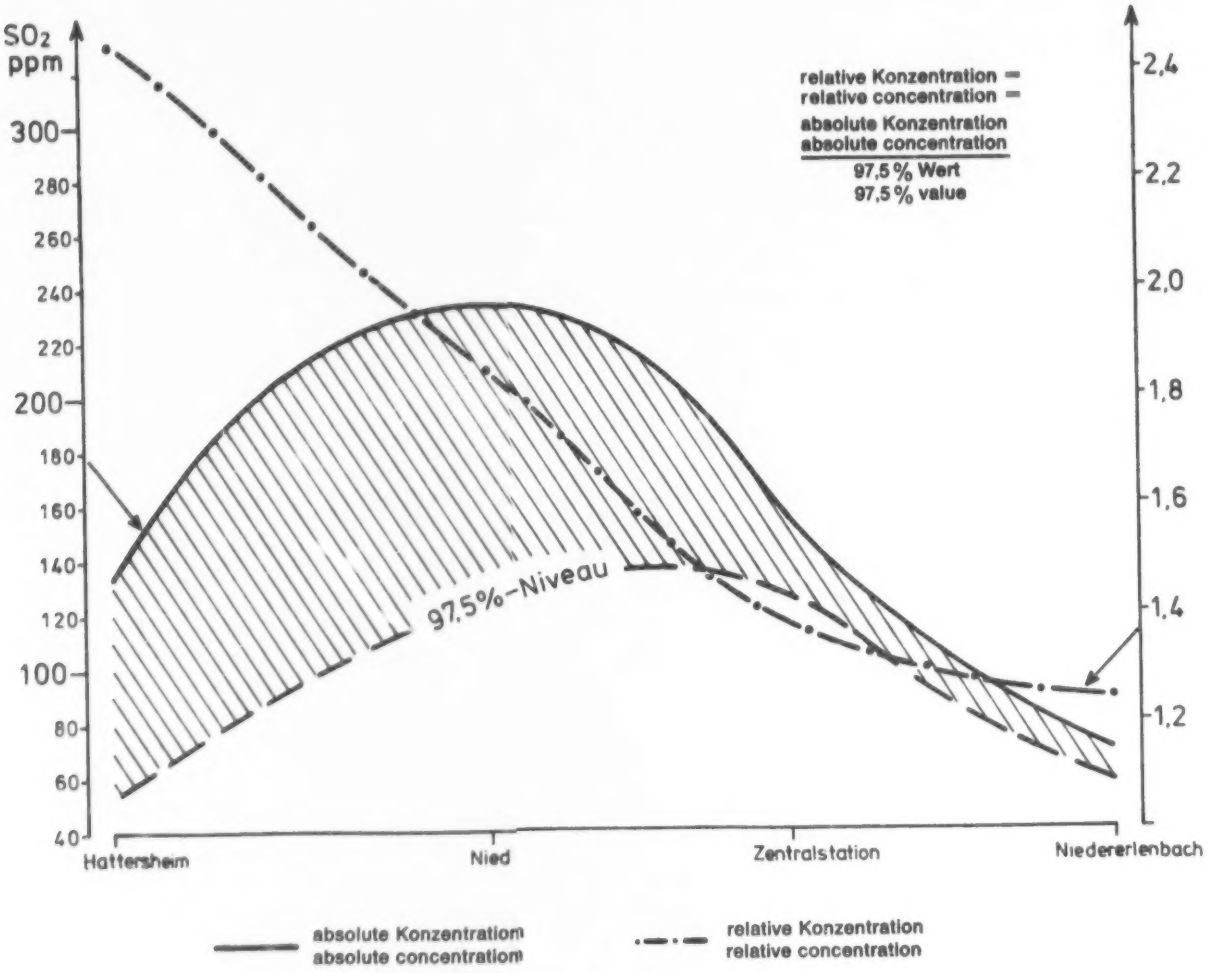
Abb. 13
Fig. 13

Monatsmittelwerte der Schwefeldioxidkonzentration Juli 1971 – Juni 1972

Monthly average value of the sulfur dioxide concentration July 1971 – June 1972

Zentralstation / central station
Offenbach
Nied
Großkrotzenburg
Hattersheim
Neu Isenburg
Niedererlenbach

Abb. 14 SO_2 Immissionsfeld am 3. 12. 1971 – 12.00 Uhr – bei Nordostwind (F = 2,7 m/sec)
Fig. 14 SO_2 immission field on Dec. 3, 1971 at 12 hrs with northeast wind (F = 2,7 m/sec)



Betrachtet man den SO_2-Konzentrationsverlauf am 3. 12. 1972 von 7.00 bis 15.00 Uhr, erkennt man den Transport eines verunreinigten Luftmassenpaketes (Abb. 15). Die ungefähr 5 km voneinander entfernt liegenden Meßstellen erreichen jeweils etwa um eine halbe Stunde versetzt das Konzentrationsmaximum. Bei einem Nordostwind von 2,7 m pro sec, entsprechend 9,7 km pro Stunde, erreicht das Luftmassenpaket gerade nach einer halben Stunde die jeweils 5 km entfernte Meßstelle. Die Konzentration an der Zentralstation erreicht allerdings nicht das erwartete hohe Konzentrationsniveau.

Für den Berichtszeitraum Juli 1972 bis Juni 1973 wurden die Schwefeldioxid-Meßergebnisse, gewonnen an den Meßstellen Zentralstation, Offenbach, Nied, Hattersheim, Nieder-Erlenbach, Groß-Krotzenburg und Neu-Isenburg, zu Häufigkeitsverteilungen zusammengefaßt. Dabei werden die Monate Oktober bis März als Heizperiode, die restlichen Monate als überwiegend heizfreie Periode bezeichnet.

A look at the SO_2-concentration development on 3 December 1972 from 7 to 15 hours discloses the transport of polluted air masses (fig. 15). The maximum concentration reaches the measuring stations which are located at a distance of 5 km from one another, consecutively at an interval of 30 minutes each. At a northeast wind of 2.7 m/sec., i. e. 9.7 km/h the air masses reach the next measuring point at a distance of 5 km exactly after 30 minutes. However, the concentration in the central station does not reach the expected high concentration level.

For the reporting period July 1972 until June 1973 the sulfur dioxide measuring results received at the stations Zentralstation, Offenbach, Nied, Hattersheim, Nieder-Erlenbach, Groß-Krotzenburg, and Neu-Isenburg were included in frequency distributions. The months October until March are considered as the heating period, the remaining months are considered predominant as the unheated period.

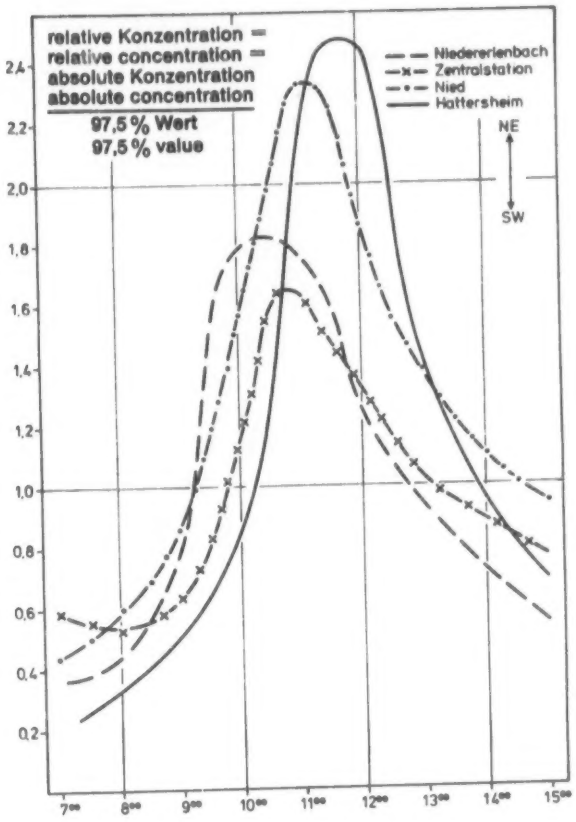


Abb. 15
Fig. 15

Konzentrationsverlauf des Schwefeldioxids 3. 12. 1971
Concentration process of the sulfur dioxide on Dec. 3, 1971

Die Abbildungen 16 – 22 zeigen die Summenhäufigkeitsverteilungen an den 7 Meßstationen. Sie zeigen direkt das prozentuale Überschreiten gewisser Konzentrationsniveaus. So lagen z. B. an der Zentralstation während der Heizperiode 80 % aller Halbstundenmittelwerte unter 76 ppb SO_2, bzw. 20 % aller Halbstundenmittelwerte überschritten die Konzentration von 76 ppb SO_2.

Einen Vergleich der 50 %- und 97,5 %-Werte der Summenhäufigkeitsverteilungen für die Jahre 1971/72 und 1972/73 zeigt die folgende Tabelle (siehe Tab. 3).

The figures 16 – 22 shows the sum frequency distribution at the seven measuring stations. They illustrate directly the percental transgression of certain concentration levels. So, for example, 80 % of all 30-minutes mean values at the Zentralstation were below 76 ppb SO_2 during the heating period respectively 20 % of all 30-minutes mean values passed over the concentration of 76 ppb SO_2.

The following table gives a comparison of the 50 %- and 97.5 % values of the sum frequency distributions for the years 1971/72 and 1972/73 (see table 3).

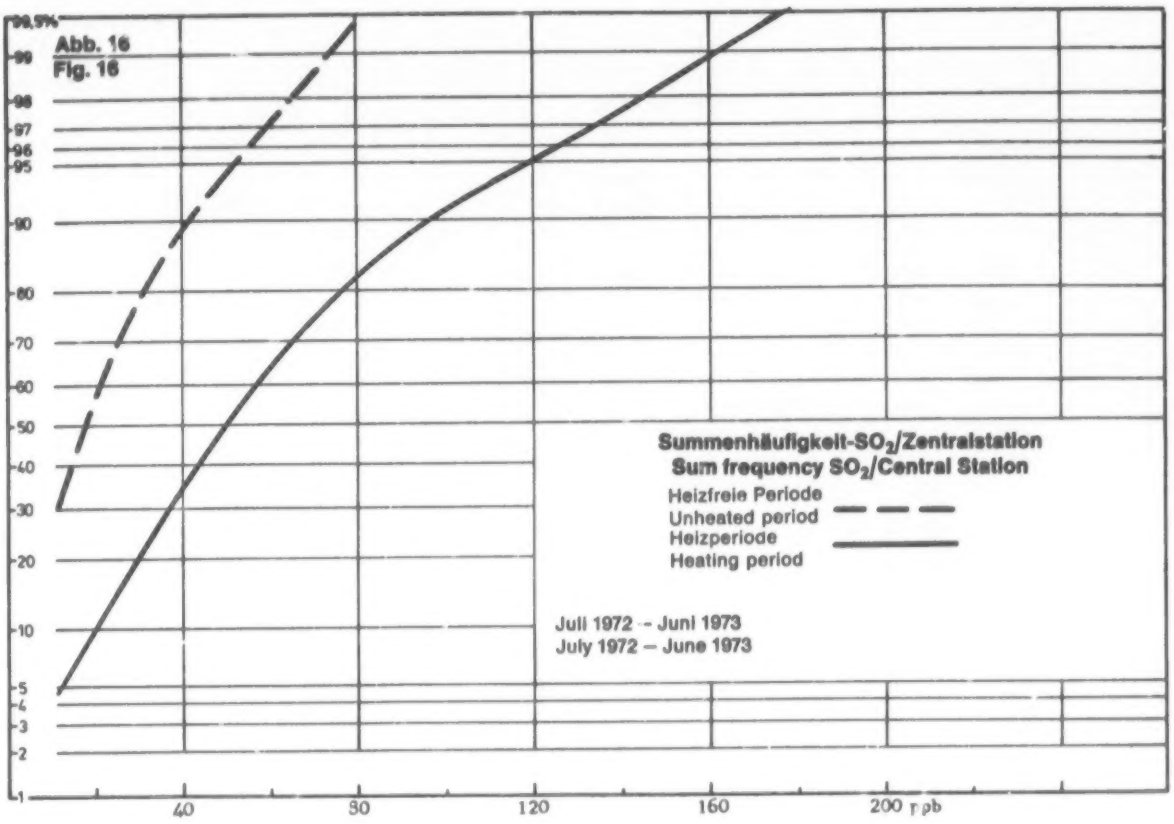
Tab. 3:

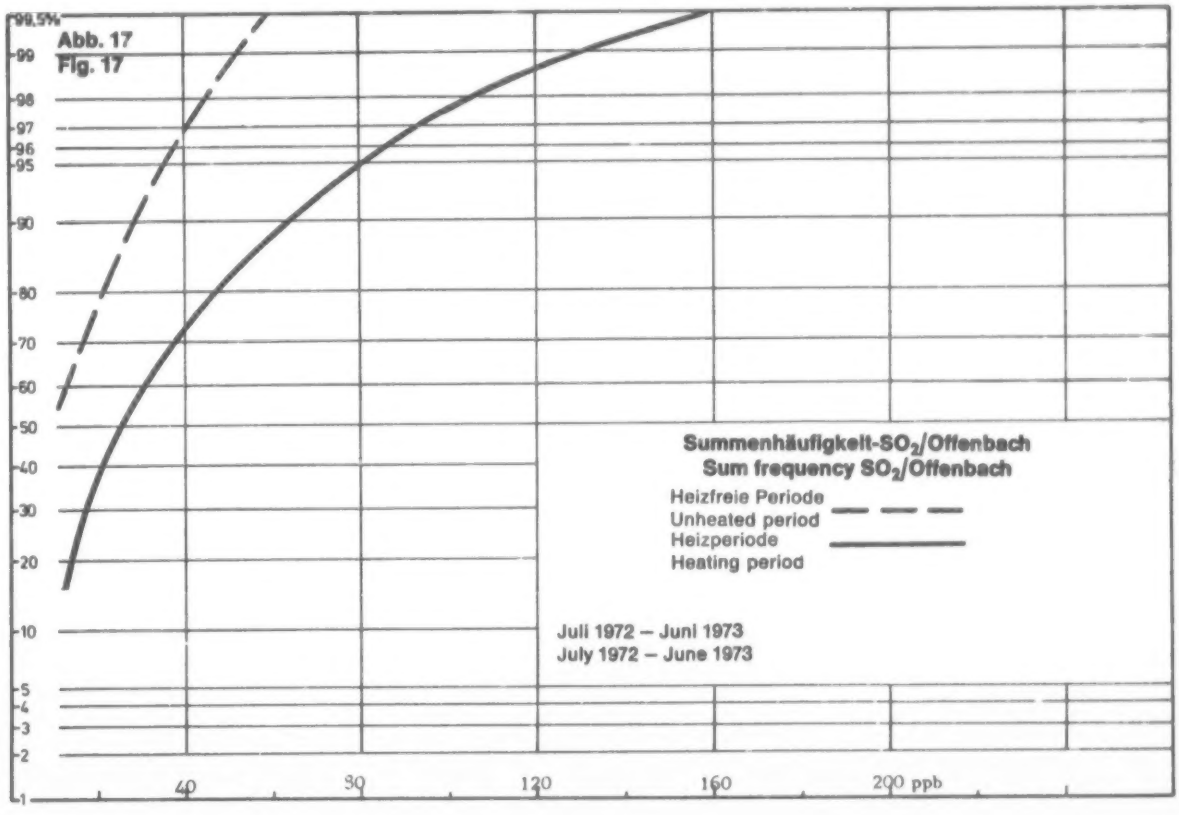
Vergleich statistischer Kenngrößen der Schwefeldioxid-Summenhäufigkeitsverteilung (in ppb SO_2) an 7 Stationen in der Region Untermain

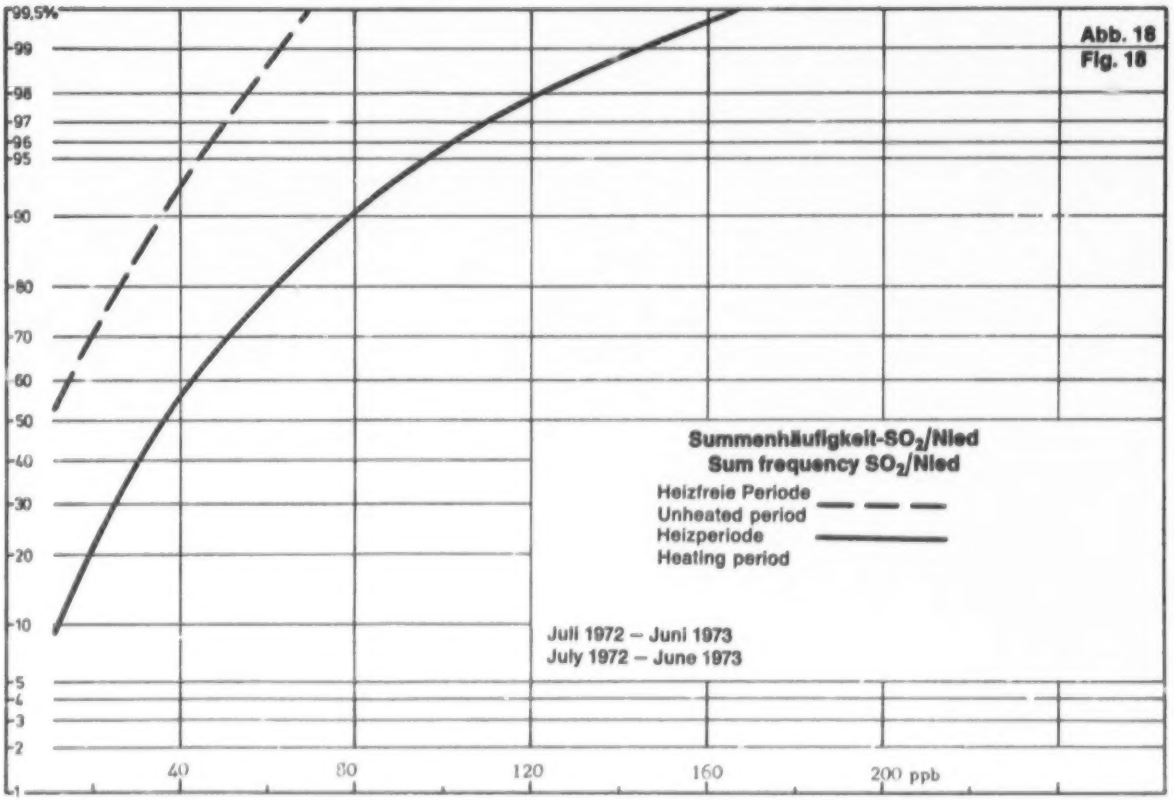
Table 3:

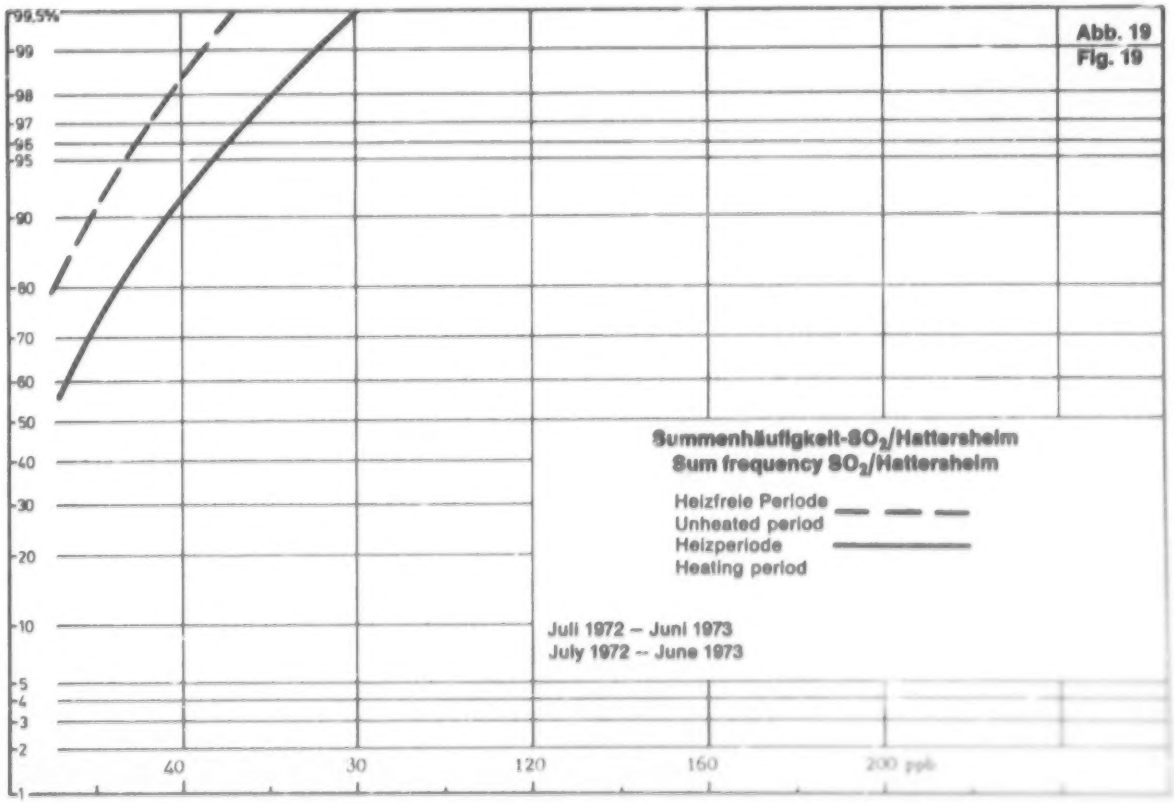
Comparison of statistical numbers of the sulfur dioxide sum frequency distribution (in ppb SO_2) at 7 stations in the Lower Main region

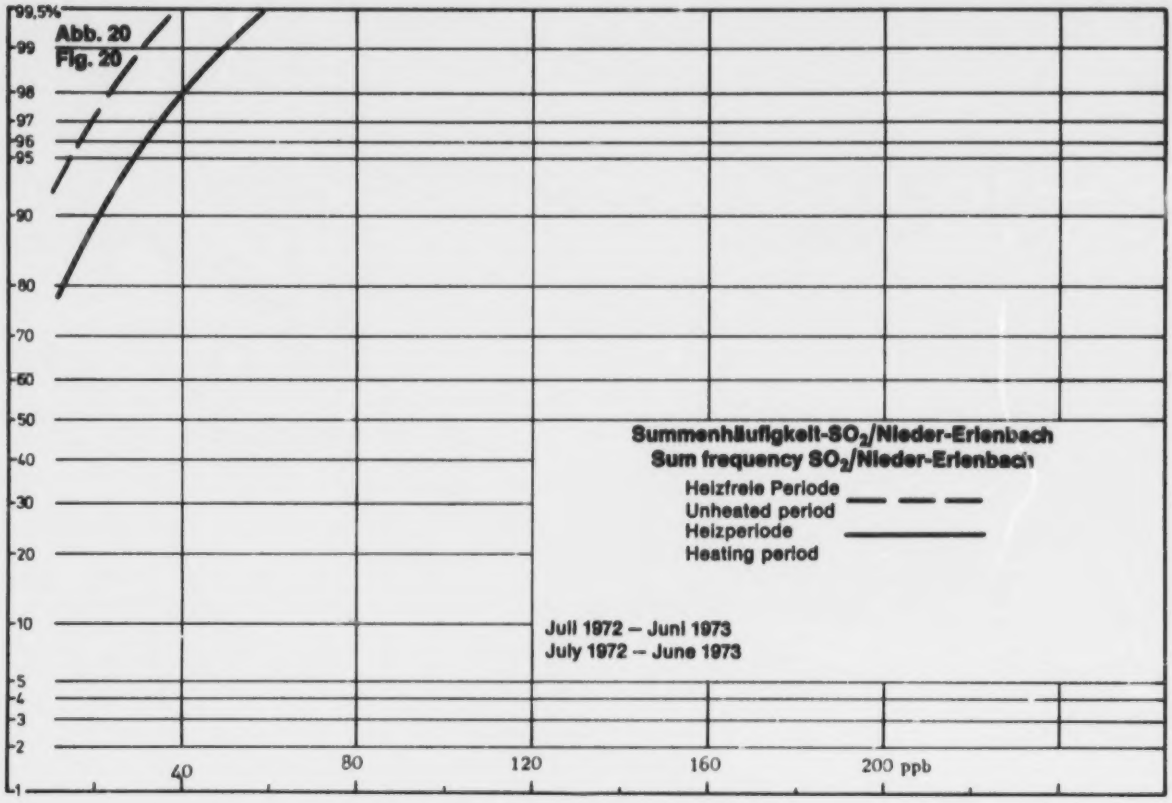
	Heizperiode Heating period				heizfreie Periode Unheated period			
	1971/72		1972/73		1971/72		1972/73	
	50 %	97.5 %	50 %	97.5 %	50 %	97.5 %	50 %	97.5 %
Zentralstation	58 ppb	152 ppb	50 ppb	140 ppb	18 ppb	61 ppb	18 ppb	62 ppb
Offenbach	30	104	26	99	13	78	9	42
Nied	40	143	36	115	15	71	10	52
Hattersheim	6	60	10	58	< 5	45	< 5	35
Nieder-Erlenbach	17	69	6	37	6	30	< 5	21
Groß-Krotzenburg	18	64	20	85	7	40	10	41
Neu-Isenburg	9	55	12	56	5	35	Geräteausfall Instruments out of order	

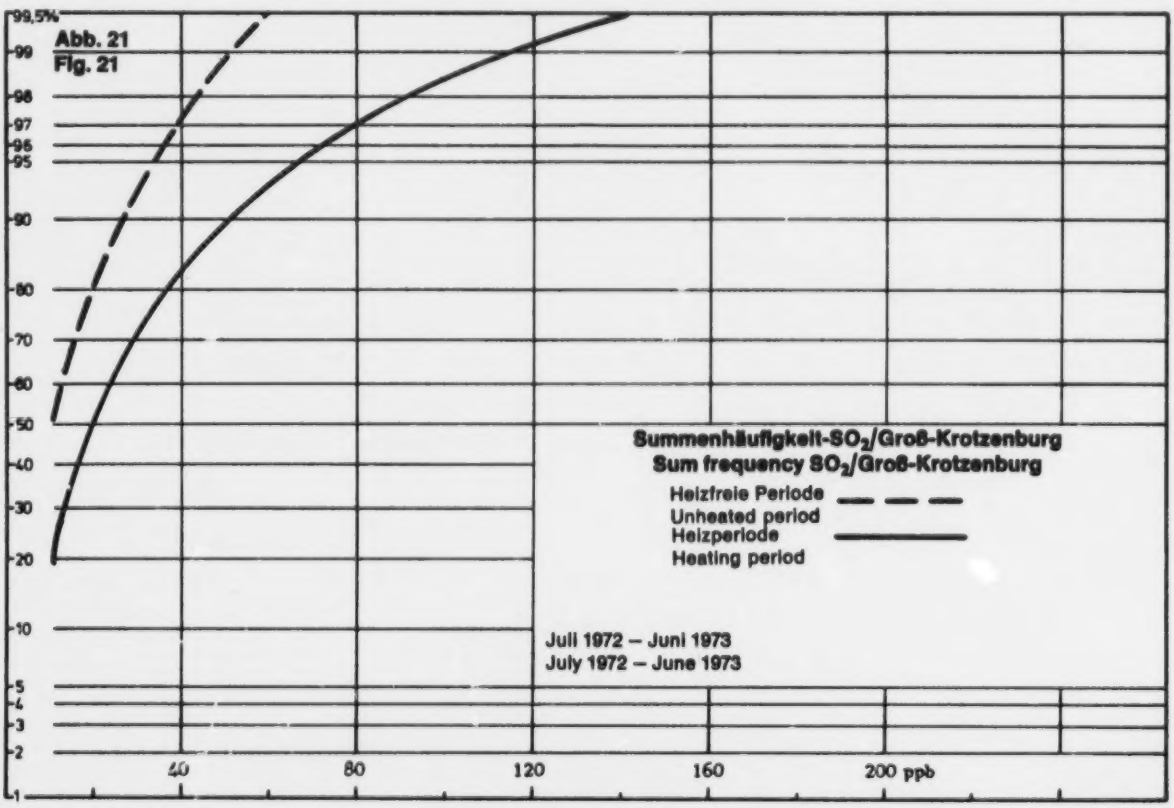

99,5%
99
98
97
96
95
90
80
70
60
50
40
30
20
10
5
4
3
2
1
40
80
120
160
200 ppb
Abb. 16
Fig. 16
Summenhäufigkeit-SO2/Zentralstation
Sum frequency SO2/Central Station
Heizfreie Periode
Unheated period
Heizperiode
Heating period
Juli 1972 – Juni 1973
July 1972 – June 1973


99,5%
99
98
97
96
95
90
80
70
60
50
40
30
20
10
5
4
3
2
1
40
80
120
160
200 ppb
Abb. 17
Fig. 17
Summenhäufigkeit-SO2/Offenbach
Sum frequency SO2/Offenbach
Heizfreie Periode
Unheated period
Heizperiode
Heating period
Juli 1972 – Juni 1973
July 1972 – June 1973


99,5%
99
98
97
96
95
90
80
70
60
50
40
30
20
10
5
4
3
2
1
40
80
120
160
200 ppb
Abb. 18
Fig. 18
Summenhäufigkeit-SO2/Nied
Sum frequency SO2/Nied
Heizfreie Periode
Unheated period
Heizperiode
Heating period
Juli 1972 – Juni 1973
July 1972 – June 1973


99,5%
99
98
97
96
95
90
80
70
60
50
40
30
20
10
5
4
3
2
1
40
80
120
160
200 ppb
Abb. 19
Fig. 19
Summenhäufigkeit-SO2/Hattersheim
Sum frequency SO2/Hattersheim
Heizfreie Periode
Unheated period
Heizperiode
Heating period
Juli 1972 – Juni 1973
July 1972 – June 1973


99,5%
99
98
97
96
95
90
80
70
60
50
40
30
20
10
5
4
3
2
1
40
80
120
160
200 ppb
Abb. 20
Fig. 20
Summenhäufigkeit-SO2/Nieder-Erlenbach
Sum frequency SO2/Nieder-Erlenbach
Heizfreie Periode
Unheated period
Heizperiode
Heating period
Juli 1972 – Juni 1973
July 1972 – June 1973


99,5%
99
98
97
96
95
90
80
70
60
50
40
30
20
10
5
4
3
2
1
40
80
120
160
200 ppb
Abb. 21
Fig. 21
Summenhäufigkeit-SO2/Groß-Krotzenburg
Sum frequency SO2/Groß-Krotzenburg
Heizfreie Periode
Unheated period
Heizperiode
Heating period
Juli 1972 – Juni 1973
July 1972 – June 1973

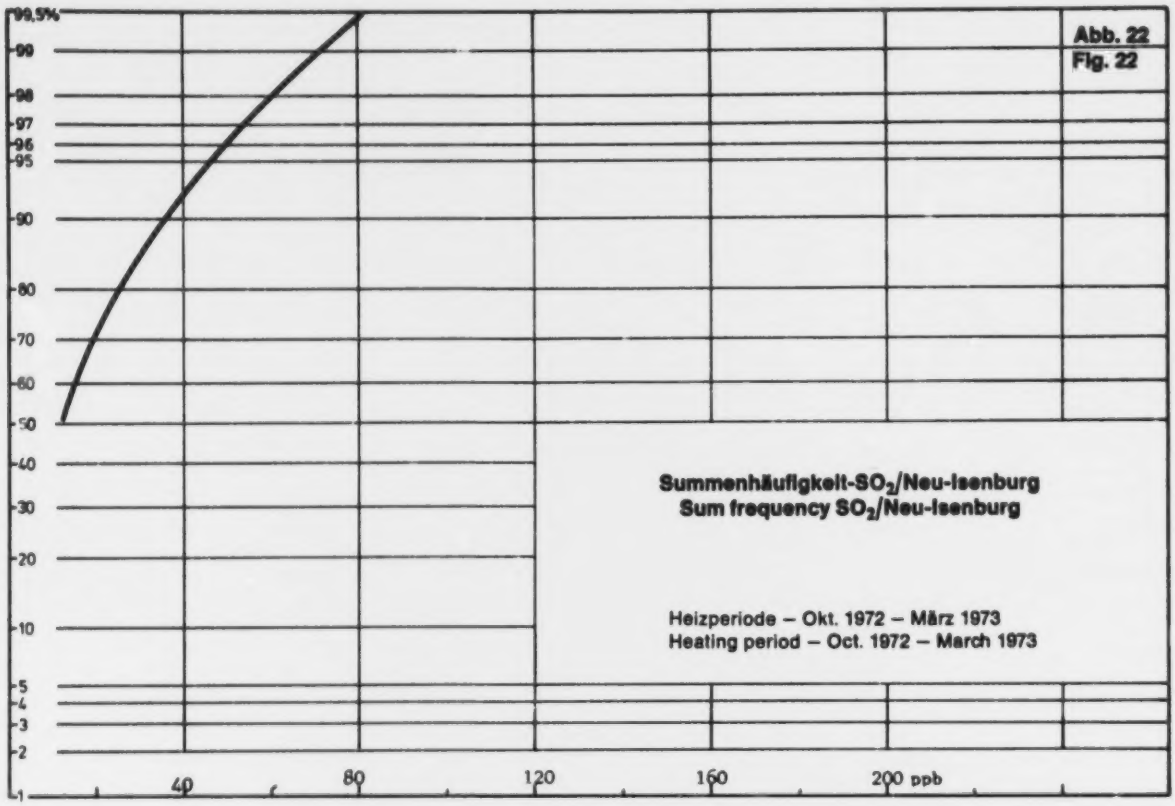


Abb. 22
Fig. 22

Eine Gegenüberstellung der Heizperioden 1971/72 und 1972/73 zeigt im wesentlichen einen Rückgang sowohl der mittleren SO_2-Belastung (charakterisiert durch das 50-Perzentil der Summenhäufigkeitsverteilung) als auch der Maximalbelastung (verdeutlicht durch das 97,5-Perzentil).

An den Meßstellen Hattersheim, Groß-Krotzenburg und Neu-Isenburg allerdings wurden 1972/73 geringfügig höhere mittlere Konzentrationen gemessen. Verantwortlich für die aus lufthygienischer Sicht erfreuliche Entwicklung sind die im Winter 1972/73 beobachteten günstigen meteorologischen Bedingungen. Der insgesamt milde Winter ohne langanhaltende austauscharme Wetterlagen führte infolge der damit verbundenen Verminderung der Hausbrandemission zu einer Konzentrationsabnahme, die sich besonders im vom Hausbrand beeinflußten Stadtzentrum bemerkbar macht.

In der überwiegend heizfreien Periode, in der die Hausbrandemission vernachlässigbar ist, läßt sich ebenfalls ein Rückgang der mittleren und maximalen SO_2-Belastung erkennen. So ist insbesondere die Konzentrationsabnahme an den industriebeeinflußten Meßstellen Offenbach und Nied bemerkenswert. Sie muß gleichfalls auf günstige meteorologische Austauschbedingungen zurückgeführt werden.

In der neuen Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft, deren Verabschiedung im Jahre 1974 erwartet wird, werden neue Immissionsgrenzwerte festgelegt. Für Schwefeldioxid gelten folgende Grenzwerte:

An antithesis of the heating periods 1971/72 and 1972/73 practically shows a decrease as well of the mean SO_2-load (characterized by the 50-percentile of the sum frequency distribution) as of the maximum load (illustrated by the 97,5-percentile).

At the measuring stations Hattersheim, Groß-Krotzenburg, and Neu-Isenburg of course slightly higher mean concentrations were measured in 1972/73. Responsible for this pleasant development from the airhygienic view are the favorable meteorological conditions observed during the winter 1972/73. The altogether mild winter without long lasting stagnant weather situations resulted – combined with the thereby decrease of domestic emissions – in a decrease of concentration which could be observed in the center of the city influenced by residential combustion.

During the predominant unheated period during which the emissions of residential combustion may be neglected a decrease of the mean and maximum SO_2-load can be noticed. Especially the decrease of concentration at the measuring stations Offenbach and Nied influenced by industry is remarkable. This must be lead back to favorable meteorological exchange conditions.

In the new Technical Guide for keeping air clean which is expected to be passed in 1974 new immission standards are established. The following standards are given for sulfur dioxide:

IW_1 (Langzeitwert)	0,14 mg/m³ ≙ 49 ppb SO_2
IW_2 (Kurzzeitwert)	0,4 mg/m³ ≙ 140 ppb SO_2

Dabei ist der Langzeitwert als arithmetischer Jahresmittelwert oder als 60 %-Wert der Jahressummenhäufigkeitsverteilung zu verstehen. Der Kurzzeitwert ist als 95-Perzentil definiert.

Tab. 4:

Arithmetischer Mittelwert, 60 %- und 95 %-Wert der SO_2-Summenhäufigkeitsverteilung für den Gesamtzeitraum Juli 1972 – Juni 1973.

	arithm. Mittel	60 %-Wert	95 %-Wert
Zentralstation	42 ppb	37 ppb	92 ppb
Offenbach	28	20	68
Nied	34	27	82
Hattersheim	13	7	39
Nieder-Erlenbach	8	4	21
Groß-Krotzenburg	23	18	52
Neu-Isenburg	Auswertung nicht möglich		

Die Tabelle 4 zeigt, daß während des Berichtszeitraumes Juli 1972 – Juni 1973 die in der neuen TAL festgelegten Immissionsgrenzwerte eingehalten sind. Es sei darauf hingewiesen, daß bei einer kalendarischen Zusammenfassung der Meßwerte von Januar 1971 bis Dezember 1971 der Kurzzeitwert von 140 ppb SO_2 an der Zentralstation gerade erreicht wird.

3.2.4.2. Staub

Die Schwebstaubkonzentration korreliert eng mit der Schwefeldioxidkonzentration; die Häufigkeitsverteilungen und mittleren täglichen Gänge entsprechen denen des Schwefeldioxids.

Die Tabelle 5 zeigt den Jahresverlauf der Schwebstaubkonzentration. Wie beim SO_2-Konzentrationsverlauf wird das Maximum in der Heizperiode und das Minimum in der heizfreien Zeit erreicht:

Tab. 5: Schwebstaubkonzentration in g/m³

Nov. 71	Dez. 71	Jan. 72	Febr. 72
105	136	87	128
März 72	Apr. 72	Mai 72	Juni 72
78	55	60	62

3.2.4.3. Nitrose Gase (NO und NO_2)

Nitrose Gase entstehen bei Verbrennungsprozessen mit hoher Flammentemperatur. Die Hauptemittenten sind Großkraftwerke, Industrie und Kraftfahrzeuge. In

IW_1 (long term value)	0,14 mg/m³ ≙ 49 ppb SO_2
IW_2 (short term value)	0,4 mg/m³ ≙ 140 ppb SO_2

Thereby the long term value is to be understood as an arithmetical annual mean value or as a 60 % value of the annual sum frequency distribution. The short term value is defined as 95-percentile.

Table 4:

Arithmetical mean value, 60 %- and 95 % value of the SO_2 sum frequency distribution for the total period July 1972 – June 1973

	arithmetical mean	60 %-value	95 %-value
Zentralstation	42 ppb	37 ppb	92 ppb
Offenbach	28	20	68
Nied	34	27	82
Hattersheim	13	7	39
Nieder-Erlenbach	8	4	21
Groß-Krotzenburg	23	18	52
Neu-Isenburg	evaluation impossible		

Table 4 illustrates that during the reporting period July 1972 until June 1973 the new immission standards set in the new Technical Guide are followed. It may be pointed out that the short term value of 140 ppb SO_2 at the Zentralstation is just reached when all measuring values during the period January 1971 until December 1971 are summarized.

3.2.4.2. Dust

The dispersed dust concentration is closely correlated with the SO_2-concentration; frequency distributions and the average daily development are equal to those of sulfur dioxide.

Table 5 shows the annual development of dispersed dust concentrations. As in case of the SO_2-concentration, the maximum is reached during the heating period and the minimum during the non-heating period:

Table 5: Dispersed dust concentration in g/m³

Nov. 71	Dec. 71	Jan. 72	Febr. 72
105	136	87	128
March 72	April 72	May 72	June 72
78	55	60	62

3.2.4.3. Nitro Gases (NO and NO_2)

Nitro-gases form during combustion processes involving a high flame temperature. The main emittors are large power plants, the industry and motor vehicles.

industriellen Ballungsgebieten mit hoher Bevölkerungsdichte ist die gemessene NO_x-Konzentration ein guter Indikator für den Gesamtverschmutzungsgrad der Luft.

Im Berichtszeitraum Juli 1971 bis Juni 1972 wurden nitrose Gase als Summe von NO und NO_2 kontinuierlich an der Zentralstation gemessen.

Abb. 23 zeigt die Summenhäufigkeitsverteilung der Halbstundenmittelwerte getrennt nach den Monaten Oktober bis März und April bis September (Heizperiode und heizfreie Periode). In Tabelle 6 sind die Monatsmittelwerte Juli 1971 bis Juni 1972 aufgelistet. Beide Darstellungen zeigen, daß in den Wintermonaten die Konzentrationen deutlich über denen der Sommermonate liegen. Das maximale Monatsmittel wurde im Dezember (96 ppb), das minimale im Juli und August (24 ppb) gemessen. Die 50%- und 97,5%-Werte der Summenhäufigkeitsverteilung betragen für die Heizperiode 57 bzw. 190 ppb. Für die heizfreie Periode liegen die entsprechenden Werte bei 36 ppb und 122 ppb.

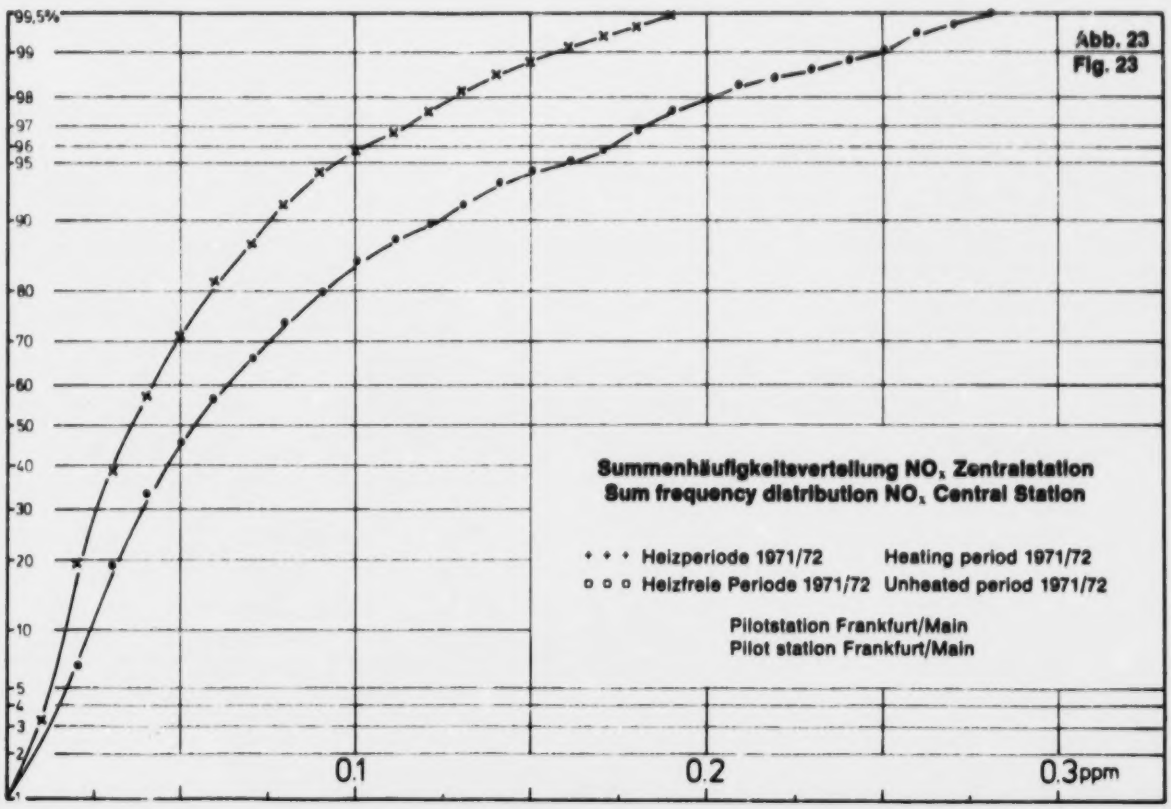
In Abb. 24 ist der mittlere tägliche Konzentrationsverlauf des NO_x für einen typischen Wintermonat (Dezember 71) und einen typischen Sommermonat (Juni 72) dargestelit. Abgesehen von den Niveauunterschieden während der Heizperiode und der heizfreien Periode, die auch aus den obengenannten Kenngrößen der Summenhäufigkeitsverteilungen hervorgehen, unterscheidet sich der Sommermonat vom Wintermonat durch eine klare Gliederung der Tagesvariation in

In densely populated industrial regions the NO_x-concentration measured is a good indicator for the total degree of air pollution.

During the reference period of July 1971 to June 1972 nitro-gases representing the sum of NO and NO_2 were measured continuously at the central station.

Fig. 23 shows the cumulative frequency distribution of the average half-hour data separately for October until March and April – September (heating and non-heating period). Table 6 lists the average monthly data from July 1971 to June 1972. Both fig. show that the concentration during the winter months is clearly superior to that of the summer months. The maximum monthly average was measured in December (96 ppb), the minimum in July and August (24 ppb). The cumulative frequency distribution of the 50% and 97.5% data shows 57 and 190 ppb for the heating period and 36 ppb and 122 ppb for the non-heating period.

Fig. 24 shows the average daily concentration development for NO_x during a typical winter month (December 1971) and a typical summer month (June 1972). Apart from the differences in the levels during the heating period and the non-heating period, which are visible also from the cumulative frequency data mentioned above, the summer month differs from the winter month by the fact that the daily variations can be clearly divided into two maxima and two minima. The



zwei Maxima und zwei Minima. Das morgendliche Maximum um 8.30 Uhr tritt im Juni synchron zum Maximum des Dezembertagesganges auf. Das abendliche Maximum ist dagegen im Sommer stark zu den Nachtstunden hin verschoben (23.00 h).

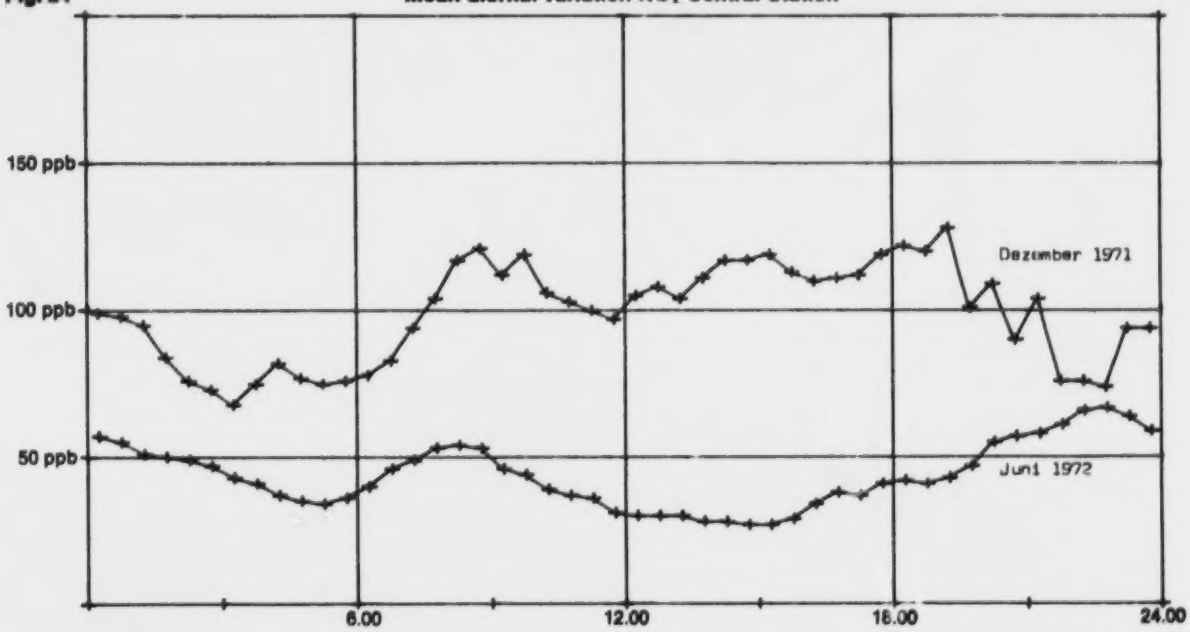
Zusammenfassend zeigt sich, daß mit 51,4 ppb (102,8 g/m³) im Jahresmittel und 148 ppb (298 g/m³) im maximalen Tagesmittel während des Berichtszeitraumes NO_x-Werte an der Zentralstation gemessen wurden, die die in „Air Quality Standards" genannten Richtwerte 50 ppb (100 µg/m³) für den arithmetischen Jahresmittelwert und 130 ppb (260 µg/m³) für das maximale Tagesmittel) überschreiten.

morning maximum at 8.30 hours in June is synchronous to the daily December maximum. The evening maximum in the summer, however, tends very much towards the night hours (23.00 hours).

In conclusion it can be said the annual average NO_x-concentration measured at the central station during the reference period was 51.4 ppb (102.8 g/m³) and the maximum daily average was 148 ppb (298 g/m³), which exceeds the standard values mentioned in the "Air Quality Standards", i. e. 50 ppb (100 µg/m³) for the arithmetic annual average and 130 ppb (260 µg/m³) for the maximum daily average.

Abb. 24
Fig. 24

Mittlerer Tagesgang NO_x Zentralstation
Mean diurnal variation NO_x Central Station



Dezember 1971 – Juni 1973
December 1971 – June 1973

Pilotstation für Luftreinhaltung
Pilot station for air conservation

3.2.4.4. CO-Zentralstation und City-Station Rathenauplatz

Kohlenmonoxid wird hauptsächlich durch den Betrieb von Kraftfahrzeugen erzeugt. Aus umfangreichen Verkehrszählungen und der gleichzeitigen Bestimmung der mittleren Fahrgeschwindigkeit in den einzelnen Stadtgebieten konnte die CO-Emission in Frankfurt auf 154 t CO/Tag abgeschätzt werden. Zu diesen Berechnungen wurden Emissionsmessungen an Kraftfahrzeugen, die der Technische Überwachungsverein Rheinland e. V. durchgeführt hat, herangezogen (Emissionskataster Köln 1972).

Die CO-Emission ist einer starken täglichen Variation unterworfen. Eine jahreszeitliche Variation ergibt sich durch die sommerliche Verminderung des Verkehrsaufkommens während der Urlaubszeit. Überlagert werden die Emissionsunterschiede durch den Tages- und Jahresgang der meteorologischen Parameter.

3.2.4.4. CO-Central station and City station Rathenauplatz

Carbon monoxide is produced mainly by motor vehicle traffic. As a result of extensive traffic statistics and the measuring of the average driving speed in the various parts of the city, the CO-emission in Frankfurt/Main was estimated at 154 t/day. For these calculations the results of motor vehicle emission measurements implemented by "Technischer Überwachungsverein Rheinland" (Emissionskataster Köln 1972) were used.

The CO-emission varies greatly during the day. Seasonal variations are due to reduced traffic during the summer vacation months. The difference in emissions is also covered by the daily and seasonal development of the meteorological parameters.

Tabelle 6 zeigt den Verlauf der CO-Monatsmittelwerte der Meßstellen Zentralstation, Offenbach/M. und der City-Station Rathenauplatz. In Abb. 25 ist die Summenhäufigkeitsverteilung der Halbstundenmittelwerte der Zentral-Station und der City-Station Rathenauplatz getrennt nach Heizperiode und heizfreier Periode dargestellt. Aus beiden Darstellungen geht die starke zeitliche und örtliche Variation der Kohlenmonoxid-Konzentrationen deutlich hervor. Zwischen Jahresmaximum und Jahresminimum am gleichen Meßort unterscheiden sich die Monatsmittel-Konzentrationen um den Faktor 2 – 2,5, zwischen den einzelnen Meßorten liegen die Konzentrationen der City-Station bei gleichen Mitteilungszeiträumen teilweise um den Faktor 4 (März 72, Mai 72) über den an der Zentralstation gemessenen Werten.

Tab. 6 Verlauf der Monatsmittelwerte

CO Zentralstation, CO Offenbach, CO City-Rathenauplatz, NO_x Zentralstation

	CO Z. St. ppm	CO Offenbach ppm	CO City ppm	NO_x Z. St. ppb
Juli 71	1,3			24
Aug. 71	2,4			24
Sept. 71	2,6			41
Okt. 71	3,2			50
Nov. 71	2.6	1,4		52
Dez. 71	2,6	1,1		96
Jan. 72	2,3	–	7,2	61
Febr. 72	2,8	2,7	6,9	40
März 72	2,1	2,4	7,9	77
April 72	1,3	1,8	5,1	50
Mai 72	1,3	2,0	5,4	39
Juni 72	1,6	2,0	4,0	43

Beschreibt man den jahreszeitlichen und örtlichen Unterschied durch die 50%- und 97,5%-Werte der Summenhäufigkeitsverteilung, so ergeben sich für die Heizperiode an der Zentralstation 1,9 und 6,9 ppm, an der City-Station Rathenauplatz 5,3 und 15,8 ppm. Die entsprechenden Werte für die heizfreie Periode betragen 0,9 und 4,8 ppm bzw. 2,1 und 10 ppm.

Da in den Wertekollektiven der Summenhäufigkeitsverteilungen die geringen Nacht-Konzentrationen mit berücksichtigt sind, liegen die 50%-Werte relativ niedrig. Zieht man in Betracht, daß sehr viele Menschen nur ihren Arbeitstag in der City verbringen, so wird die Kohlenmonoxidbelastung der Bevölkerung besser durch den mittleren täglichen Gang beschrieben. In Abb. 26 und 27 sind die mittleren täglichen Gänge der CO-Konzentrationen der City-Station Rathenauplatz für je einen typischen Winter- (Jan. 72) und Sommermonat (Juni 72) dargestellt. Die Unterschiede dieser beiden Monate sind durch das im Januar höhere mittlere Niveau, den schärfer ausgeprägten Anstieg während der morgendlichen „rush-hour" und durch den steileren Abfall der CO-Konzentration in den

Table 6 shows the development of the monthly average CO data measured at the central station at Offenbach and at the city station Rathenauplatz. Fig. 25 shows the cumulative frequency distribution of the average half-hour data measured at the central station and the city station Rathenauplatz for the heating and the non-heating period. In both fig. the considerable variations of CO-concentrations in terms of time and place are clearly visible. The average monthly concentrations between the annual maximum and the annual minimum at the same measuring station differ by the factor 2 – 2.5; as for measurements at different stations the concentration data measured by the city station exceeded those measured for the same period at the central station sometimes by factor 4 (March 72, May 72).

Table 6: Development of average monthly data

CO Central station, CO Offenbach, CO City Rathenauplatz, NO_x Central station

	CO C. St. ppm	CO Offenbach ppm	CO City ppm	NO_x C. St. ppb
July 71	1.3			24
Aug. 71	2.4			24
Sept. 71	2.6			41
Oct. 71	3.2			50
Nov. 71	2.6	1.4		52
Dec. 71	2.6	1.1		96
Jan. 72	2.3	–	7.2	61
Febr. 72	2.8	2.7	6.9	40
March 72	2.1	2.4	7.9	77
April 72	1.3	1.8	5.1	50
May 72	1.3	2.0	5.4	39
June 72	1.6	2.0	4.0	43

When describing the seasonal and local difference using the 50% and 97.5% data of the cumulative frequency distributions, it results that the data for the heating period at the central station were 1.9 and 6.9 ppm, at the city station Rathenauplatz 5.3 and 15.8 ppm. The corresponding data for the nonheating period were 0.9 and 4.8 ppm or 2.1 and 10 ppm respectively.

Since the low night concentrations are included in the collective cumulative frequency data the 50% data are relatively low. Considering that many people spend only their working hours in the city, the carbon monoxide pollution to which the population is exposed can be better described on the basis of the average daily development. Fig. 26 and 27 show the average daily development of CO-concentrations measured at the city station Rathenauplatz for one typical winter month (January 72), and one summer month (June 72). The differences between these two months are characterized by the higher average level in January, by the more accentuated increase during the morning rush hour and the sharper decrease of the CO-concentration in the evening hours. Between 7.00 and 19.00

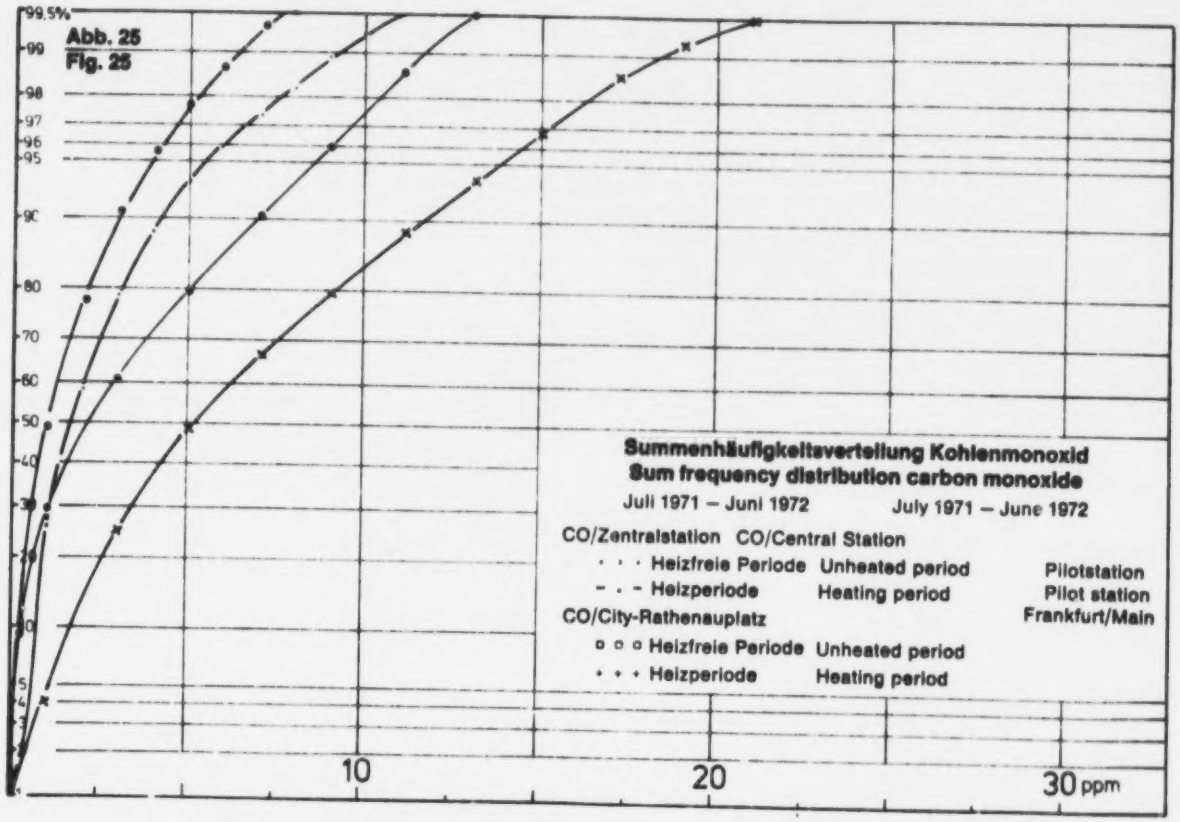


Abb. 25
Fig. 25

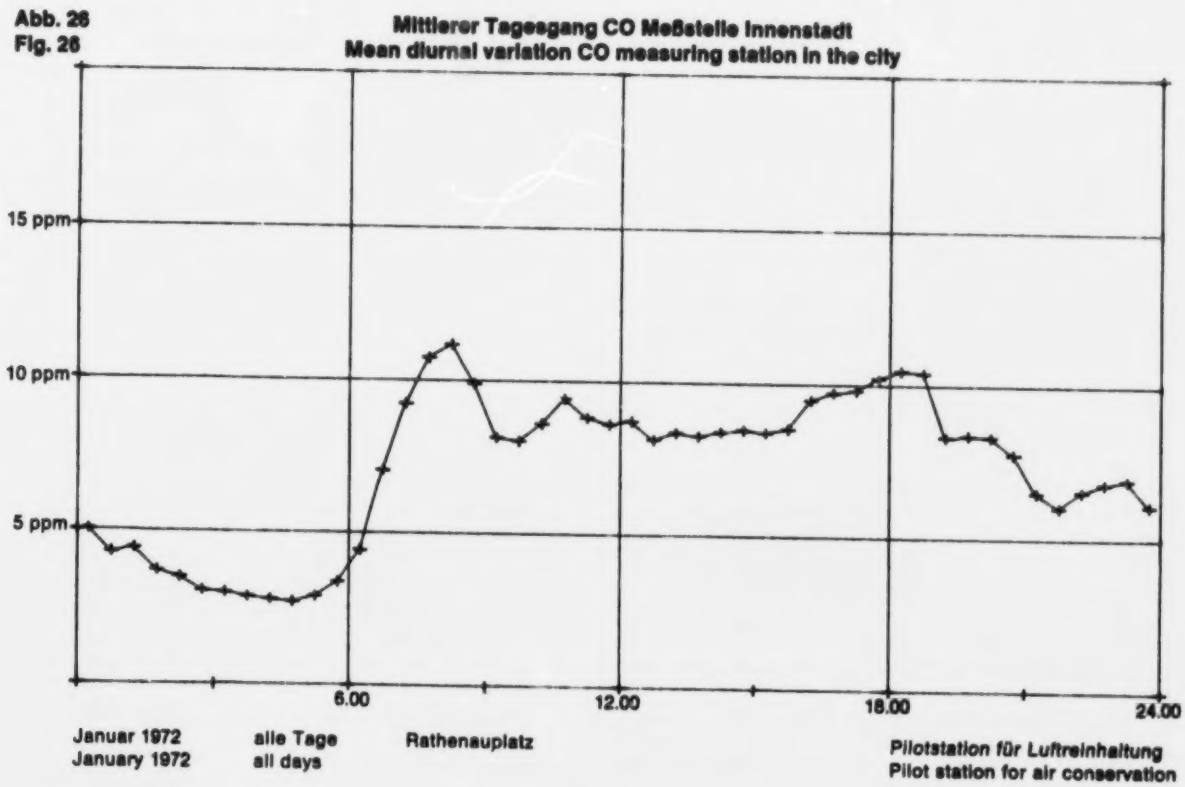
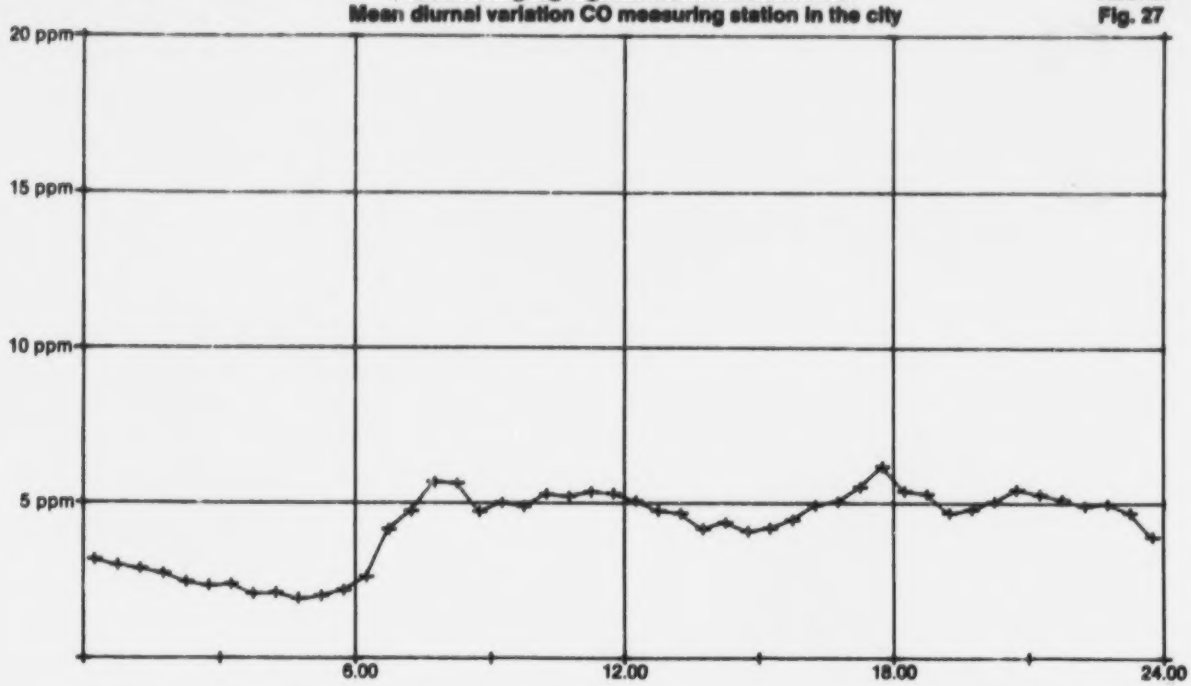


Abb. 26
Fig. 26

Mittlerer Tagesgang CO Meßstelle Innenstadt
Mean diurnal variation CO measuring station in the city

Abb. 27
Fig. 27



Juni 1972 alle Tage Rathenauplatz Pilotstation für Luftreinhaltung
June 1972 all days Pilot station for air conservation

Abendstunden gekennzeichnet. In der Zeit von 7.00 bis 19.00 Uhr beträgt die mittlere Konzentration im Januar ca. 9 ppm und im Juni ca. 5 ppm. Bei einem Vergleich der gemessenen CO-Konzentrationen mit den „Air Quality Standards" (40 mg CO/N m^3 ≙ 32 ppm für das maximale Stundenmittel und 10 mg CO/N m^3 ≙ 8 ppm für das maximale 8-Stunden-Mittel) ergibt sich, daß der Grenzwert für kurzfristige Belastungen weder an der Zentralstation noch an der City-Station Rathenauplatz überschritten wurde. Der Grenzwert für den 8-Stunden-Mittelwert wurde an der Zentralstation nicht erreicht, aber an der Meßstelle City - Rathenauplatz während der Meßperiode Januar bis September an 43 Tagen überschritten.

hours the average concentration was 9 ppm in January and 5 ppm in June. A comparison between the CO-concentrations measured and the air quality standards (40 µg CO/N m^3 ≙ 32 ppm for the maximum average per hour and 10 µg CO/N m^3 ≙ 8 ppm for the maximum average per 8 hours) shows that the limit for short-term pollution was exceeded neither at the central station nor the city station Rathenauplatz. The limit for the 8 hours average was not reached at the central station but was exceeded at the city station Rathenauplatz on 43 days during the measuring period January – September.

3.2.4.5. Meßergebnisse der City-Station Rundschauhaus

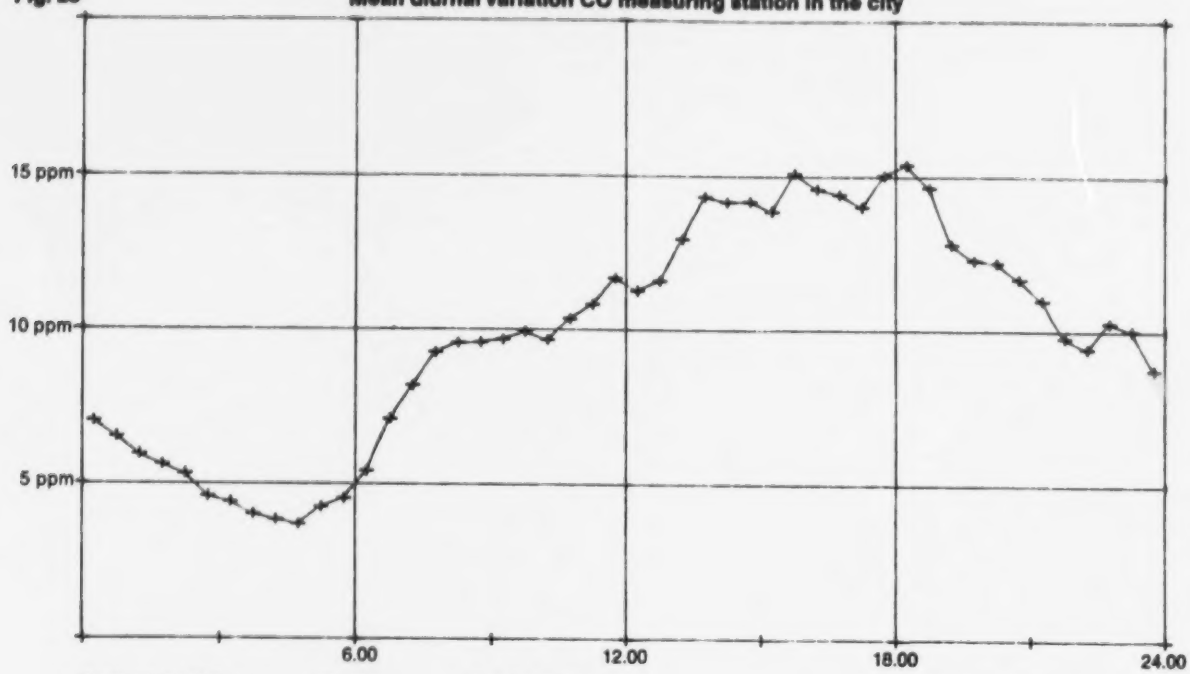
Mit dem Aufbau der Mehrkomponenten-Meßstelle City Rundschau-Haus wurde im August 1972 begonnen. Die ersten kontinuierlichen Meßreihen für die kraftfahrzeugspezifischen Komponenten CO, NO_x und Ozon liegen für den Monat September 1972 vor. Aus den Meßergebnissen wurden die mittleren täglichen Konzentrationsvariationen errechnet. Wegen der ausgeprägten Wochenrhythmen der Verkehrsbelastung an dieser Meßstelle wurde für die Komponente Kohlenmonoxid zunächst das gesamte Wertekollektiv verarbeitet (Abb. 28). In weiteren Rechenschritten erfolgte eine getrennte Behandlung der Werktags-, Samstags- und Sonntagskollektive (Abb. 29, 30 und 31).

3.2.4.5. Measuring results of the city station Rundschauhaus

The installations of the multiple-component city station Rundschauhaus started in August 1972. The first continuous measurements for the specific motor vehicle components CO, NO_x and ozone are available for September 1972. The average daily concentration variations were calculated from these results. Because of the typical weekly rhythms of the traffic load, at this station the total data lot was first processed for the component carbon monoxide (fig. 28). During further processing stages the workday, Saturday and Sunday lots were dealed with separately (fig. 29, 30, 31).

Abb. 28
Fig. 28

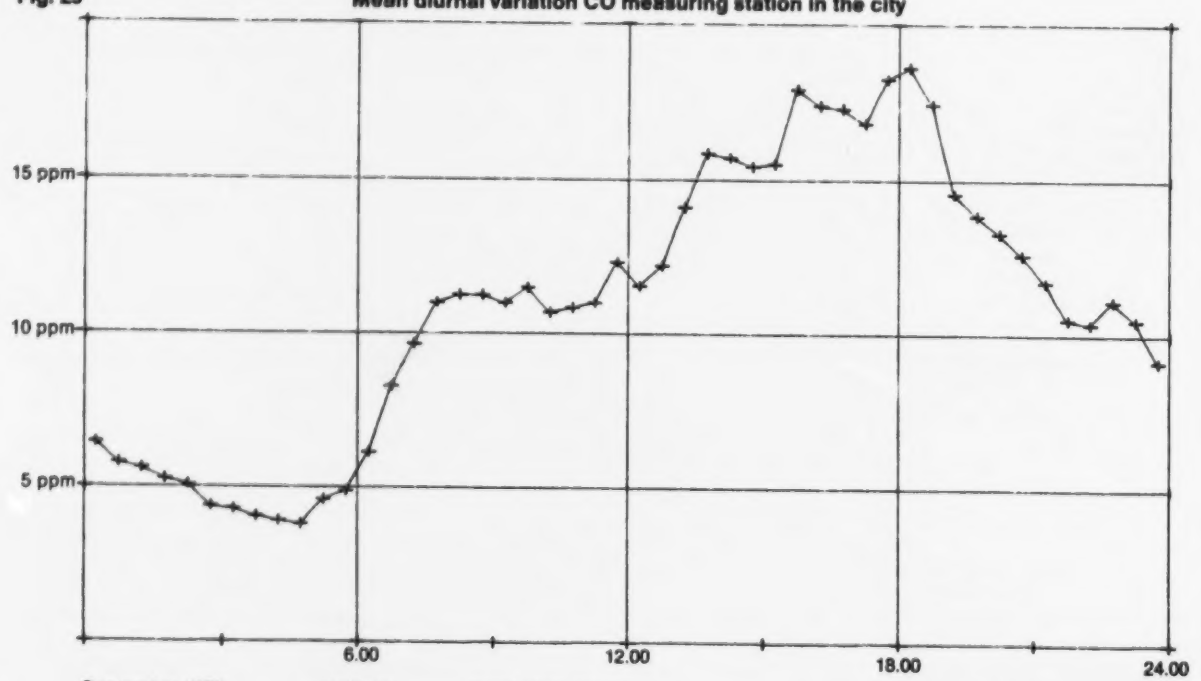
Mittlerer Tagesgang CO Meßstelle Innenstadt
Mean diurnal variation CO measuring station in the city



September 1972 | alle Tage | Rundschau-Haus | Pilotstation für Luftreinhaltung
September 1972 | all days | | Pilot station for air conservation

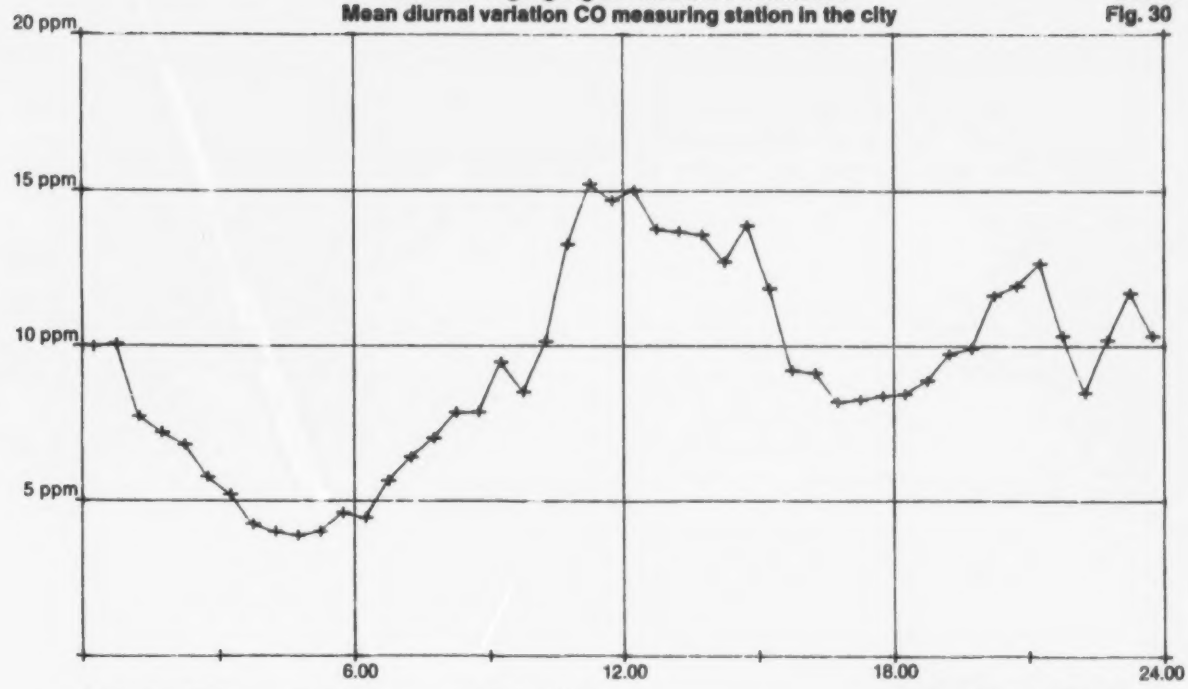
Abb. 29
Fig. 29

Mittlerer Tagesgang CO Meßstelle Innenstadt
Mean diurnal variation CO measuring station in the city



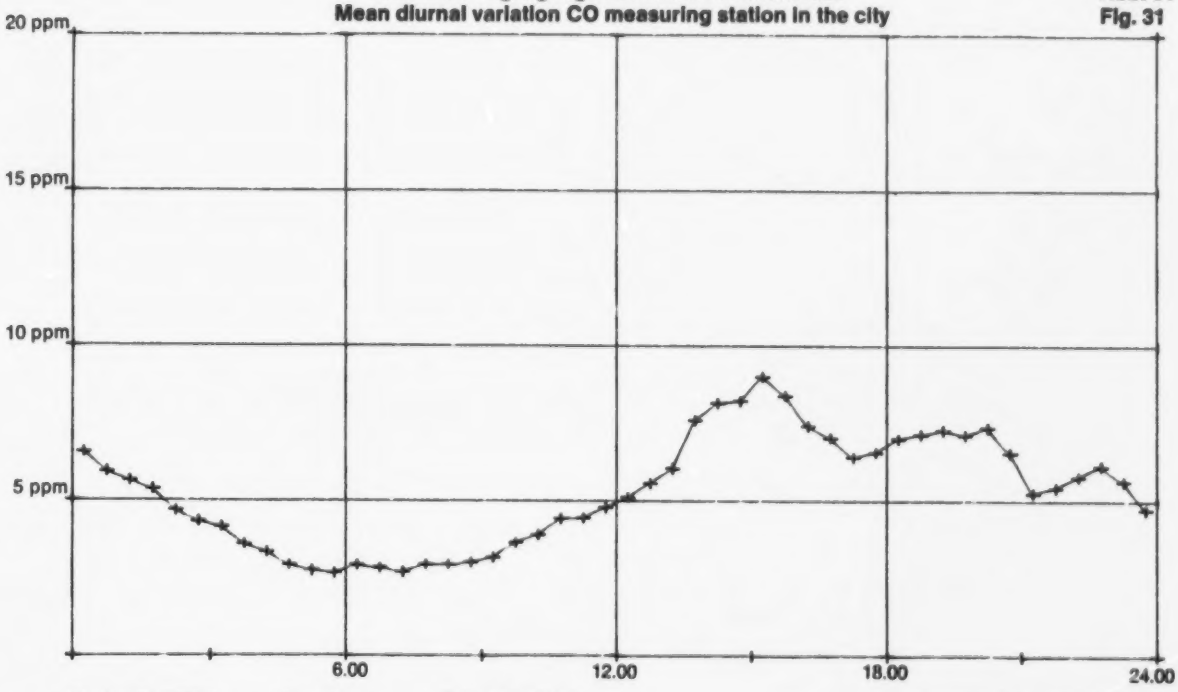
September 1972 | Werktage | Rundschau-Haus | Pilotstation für Luftreinhaltung
September 1972 | weekdays | | Pilot station for air conservation

Mittlerer Tagesgang CO Meßstelle Innenstadt **Abb. 30**
Mean diurnal variation CO measuring station in the city **Fig. 30**



September 1972 Samstage Rundschau-Haus Pilotstation für Luftreinhaltung
September 1972 Saturdays Pilot station for air conservation

Mittlerer Tagesgang CO Meßstelle Innenstadt **Abb. 31**
Mean diurnal variation CO measuring station in the city **Fig. 31**



September 1972 Sonntage Rundschau-Haus Pilotstation für Luftreinhaltung
September 1972 Sundays Pilot station for air conservation

An der Meßstelle wird der Verkehr durch Einbahnregelung stadtauswärts geführt. Die Verkehrsbelastung und die gemessenen CO-Konzentrationen zeigen deshalb im Tagesverlauf ein fast kontinuierliches Ansteigen zum absoluten Maximum in der abendlichen „rush hour" um 18.30 Uhr. Um diese Uhrzeit beträgt die über den gesamten Monat September gemittelte Konzentration 15,4 ppm. Legt man der Auswertung nur die Werktage (jeweils Montag bis Freitag) zugrunde, so beträgt der entsprechende mittlere Maximalwert 18,6 ppm (Abb. 29).

Einen völlig anderen Konzentrationsverlauf zeigen die Samstage (Abb. 30). Das Tagesmaximum wird bereits zwischen 11.30 und 13.30 Uhr erreicht (15,2 ppm). Zwei sekundäre Maxima liegen in den späten Abendstunden (21.00 und 23.30 Uhr). An den Sonntagen (Abb. 31) setzt verstärkter Kraftfahrzeugverkehr erst relativ spät ein (9.00 Uhr). Die Konzentrationsspitze wird um 15.30 Uhr, ein sekundäres Maximum um 23.00 Uhr erreicht.

Ein Vergleich der mittleren täglichen Gänge der CO- und NO_x-Konzentration (Abb. 28 und Abb. 32) zeigt, daß der Konzentrationsverlauf der nitrosen Gase deutlich vom CO-Tagesgang abweicht.

Im Gegensatz zur ständigen Akkumulierung der CO-Konzentration von 5.00 bis 18.30 Uhr existieren beim NO_x-Tagesgang zwei unterscheidbare Maxima um 8.00 und 19.30 Uhr. Das sekundäre Maximum um 14.00 Uhr tritt zu einem Zeitpunkt auf, an dem die CO-Konzentration im Monatsmittel bereits das Niveau des abendlichen Maximums erreicht hat. Für diesen

At the measuring station traffic runs one-way out of the city. Therefore the traffic load and the CO-concentrations measured during the day show an almost continuous rise to the absolute maximum during the evening rush hours around 18.30 hours. At this time the average concentration measured for the whole month of September was 15.4 ppm. If the data are based on working days (Monday to Friday) only the corresponding average maximum is 18.6 ppm (fig. 29).

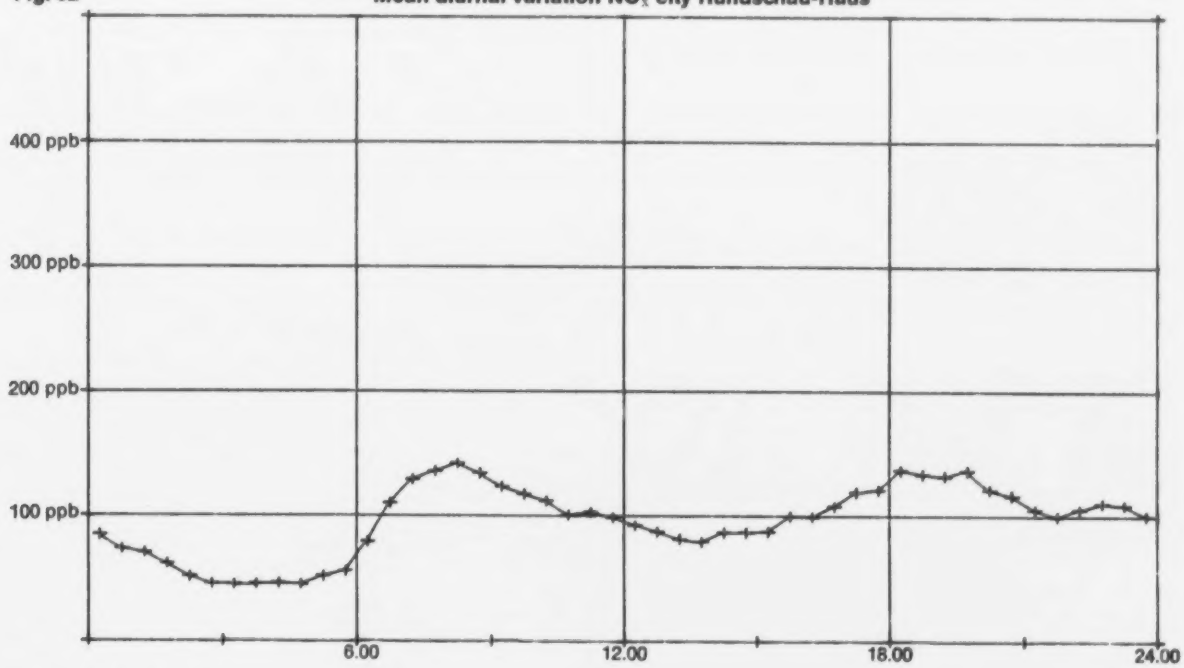
Saturdays show a completely different concentration (fig. 30). The daily maximum is reached already between 11.30 and 13.30 hours (15.2 ppm). Two secondary maxima are reached during the late evening (21 and 23.30 hours). On Sundays (fig. 31) major traffic starts only relatively late (9.00 hours). The concentration peak is reached at 15.30 hours, a secondary maximum at 23.00 hours.

A comparison between the average daily CO- and NO_x-concentrations (fig. 28 and 32) shows that the development of the concentration of nitro-gases clearly varies from that of CO.

Contrary to the continuous accumulation of CO-concentrations from 5.00 to 18.30 hours there are two distinct maxima of daily NO_x-developments at 8.00 and 19.30 hours. The secondary maximum at 14.00 hours develops at a time when the average monthly CO concentration already reaches the level of the evening maximum. There are two possibilities of interpretation

Abb. 32
Fig. 32

Mittlerer Tagesgang NO_x City Rundschau-Haus
Mean diurnal variation NO_x city Rundschau-Haus



September 1972 — alle Tage / all days — Pilotstation für Luftreinhaltung / Pilot station for air conservation

Unterschied im Konzentrationsverlauf von CO und NO_x gibt es zwei Interpretationsmöglichkeiten:

1. Dem durch die Kfz.-Emission bedingten Tagesgang der NO_x-Konzentration an der Meßstelle City Rundschau-Haus ist der Einfluß weiterer NO_x-emittierender Quellen (Industrie, Heizkraftwerke) überlagert.

2. Unterschiedliche Fahrzyklen der Kraftfahrzeuge infolge wechselnder Verkehrsbedingungen im Tageslauf ändern das CO/NO_x-Verhältnis im Kraftfahrzeugabgas. Bei einer mittleren gefahrenen Geschwindigkeit von 26 km/h beträgt das CO/NO_x-Verhältnis im Autoabgas 29. 8. Sinkt die Geschwindigkeit auf 6 km/h ab, so steigt das CO/NO_x-Verhältnis auf 98 an.

Aufgrund der zur Zeit ausgewerteten Meßergebnisse ist es noch nicht möglich zu unterscheiden, welcher der oben angeführten Gründe für die Differenzen des NO_x- und CO-Tagesganges ausschlaggebend ist.

Die gleichfalls an der Station durchgeführten Ozon-Messungen zeigen im mittleren täglichen Konzentrationsgang (Abb. 33) für den September relativ geringe Werte. Das Maximum tritt im Monatsmittel um 16.00 Uhr auf und erreicht 8,6 ppb. An einzelnen Tagen, besonders an Tagen mit hoher Strahlungsintensi-

for these varying CO- and NO_x-concentrations:

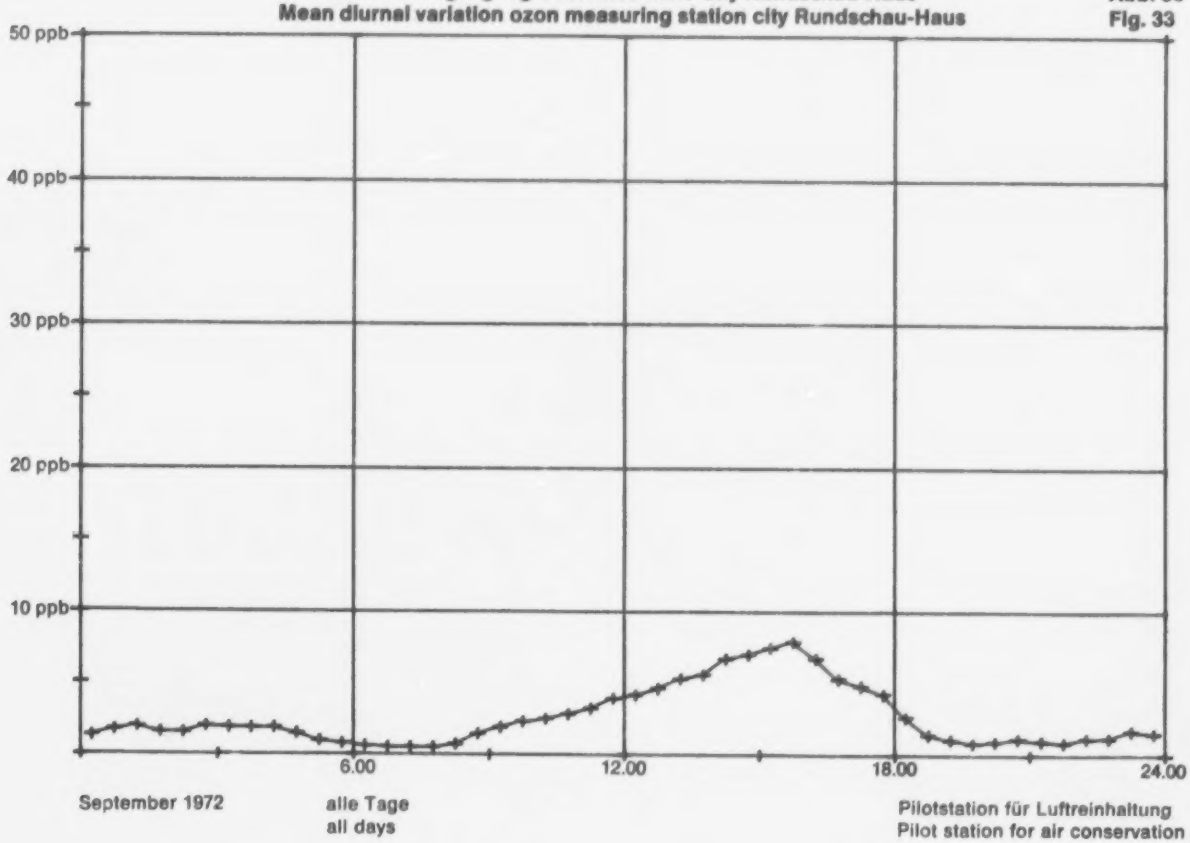
1. The daily development of NO_x-concentration caused by motor vehicle emission at the city station Rundschauhaus is also due to the additional influence of other NO_x-emission sources (industry, heating plants).

2. Varying speeds of vehicles due to different traffic conditions during the day change the CO/NO_x-ratio in exhaust gas. At an average speed of 26 km/h the exhaust gas CO/NO_x-ratio is 29.8. If the speed is reduced to 6 km/h the CO/NO_x-ratio increases to 98.

It is not yet possible to ascertain on the basis of the measuring results, which are being evalued at present, which of the two reasons mentioned above, causes the difference in the daily NO_x- and CO-development.

The ozone measurements which were also carried out at the same station give relatively low average daily concentration figures in September (fig. 33). The average monthly maximum occurs at 16.00 hours and reaches 8.6 ppb. On some days, especially on days with a high radiation intensity, the concentrations

Mittlerer Tagesgang Ozon Meßstelle City Rundschau-Haus **Abb. 33**
Mean diurnal variation ozon measuring station city Rundschau-Haus **Fig. 33**



tät, lagen die Konzentrationen wesentlich höher. Das maximale Halbstundenmittel betrug 29,5 ppb. Teilweise wurden Konzentrationen gemessen, die nur wenig unter den Werten der Ozon-Referenzstation auf dem kleinen Feldberg (800 m Seehöhe) lagen.
Unter Berücksichtigung der „Air Quality Standards" ergibt sich an der Meßstelle City - Rundschauhaus für den Monat September folgende Beurteilung der lufthygienischen Situation:

were considerably higher. The maximum half-hour average was 29.5 ppb. Sometimes, concentrations were measured which were hardly below the ozone readings at the "Kleine Feldberg" mountain reference station (800 m above sea level). With reference to the "Air Quality Standards" the air-hygienic situation at the city station Rundschauhaus for the month of September has been evaluated as follows:

Die CO-Konzentrationen liegen im Lang- und Kurzzeitmittel zum Teil deutlich über den festgesetzten Richtwerten. Das maximale Halbstundenmittel beträgt 39,1 ppm. 1 % aller an Werktagen gemessenen Halbstundenmittel (10 Fälle im Monat) liegen über dem Kurzzeit-Grenzwert von 32 ppm (40 mg/m³). An 19 Tagen wurden im Tagesmittel CO-Konzentrationen über 8 ppm (10 mg/m³) gemessen. Der Monatsmittelwert der NO_x-Konzentration liegt im September mit 96,8 ppb (194 μg/m³) deutlich über dem festgesetzten Langzeitwert von 50 ppb (100 μg/m³).

The long-term and short-term averages of CO-concentrations were sometimes clearly above the established standards. The maximum half-hour average was 39.1 ppm. 1 % of all half-hour average data measured on working days (10 cases per month) was above the short-term limit of 32 ppm (40 mg/m³). On 19 days a daily average CO concentration of more than 8 ppm (10 mg/m³) was measured. The average monthly NO_x-concentration of 96.8 ppb (194 μg/m³) in September was clearly above the established long-term concentration of 50 ppb (100 μg/m³).

Im Gegensatz dazu erreichten die Oxidantien-Konzentrationen (Ozon) nicht den Grenzwert von 72 ppb (160 μg/m³).

On the other hand, the ozone-concentrations did not reach the limit of 72 ppb (160 μg/m³).

Für die meßtechnische Überwachung von kraftfahrzeugspezifischen Emissionen ergibt sich die Notwendigkeit einer Mehrkomponenten-Messung.

To survey the measurements of specific motor vehicle emissions it is necessary to measure several components.

CO ist als Tracer für die Konzentration von Kraftfahrzeugabgasen nur bedingt zu verwenden.

CO can be used only to a limited extent as a tracer for exhaust gas concentration.

3.2.5. Literatur / Literature

AURAND, K.; BOSCH, J. (1967): Zeitschrift „Staub" Reinhaltung der Luft, Heft 10/67.

BREUER, W. (1969): „Archiv für technisches Messen" – ATM – Lfg. 396, Jan. 69, Seite 7–12.

CLARENBURG, L. A.; SCHNEIDER, T. u. a. (1972): Zeitschrift „Staub" Reinhaltung der Luft, Heft 6/72.

EMISSIONSKATASTER KÖLN (1972): Minister für Arbeit, Gesundheit und Soziales.

ENGELHARDT, H. (1972): „Elektroanzeiger", Heft 8/72, Seite 138–141.

KALLER, R. S. (1972): „Kontinuierliche Schwefeldioxidmessungen in der Region Untermain vom 1. 7. 1971 bis 30. 6. 1972", RPU-Bericht.

MET. INST. (1972): „Wissenschaftliche Arbeiten zur Luftreinaltung", Universitäts-Institut für Meteorologie und Geophysik, Dez. 1972.

VDI 2451, Blatt 4: „Richtlinie im Handbuch Reinhaltung der Luft".

VDI 2455, Blatt 1: „Richtlinie im Handbuch Reinhaltung der Luft".

WEBER, E. (1970): „Einrichtung und Ergebnisse der Probemeßstation Frankfurt/Main", Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin, Heft 30, Seite 19–47.

3.3. Luftqualitätsmessungen der Meß- und Prüfstelle

3.3.1. Einführung

Im Rahmen der lufthygienisch-meteorologischen Modelluntersuchung in der Region Untermain führt die Meß- und Prüfstelle für die Gewerbeaufsichtsverwaltung des Landes Hessen, Kassel, im Raum Frankfurt/Main – Offenbach – Hanau – Großkrotzenburg großräumige Pegelmessungen zur Ermittlung der Immissionsbelastung der bodennahen Schichten durch die Komponenten Schwefeldioxid und Staubniederschlag durch. Die Erfassung der vorgenannten Luftschadstoffe erfolgt durch Probenahme in Gitternetzen. Beide Meßnetze (SO_2 und Staubniederschlag) befinden sich bei unterschiedlicher äußerer Begrenzung in einem Untersuchungsgebiet, das sich vom Raum Hanau – Großkrotzenburg im Osten entlang des Mains bis Frankfurt/Main-Höchst erstreckt. Bei einer Meßstellendichte von 1 Meßstelle pro 1 km² umfaßt das Schwefeldioxidmeßnetz 203 Meßpunkte und das Staubniederschlagsmeßnetz 142 Meßstellen. Damit wird hinsichtlich des Meßobjektes Schwefeldioxid eine Fläche von 167 km² und hinsichtlich des Meßobjektes Staubniederschlag eine Fläche von 114 km² überwacht. Dies entspricht etwa 4,1 v.H. bzw. 2,8 v.H. der gesamten Fläche der Region Untermain. Innerhalb der Meßnetze wurden als Meßorte die durch die Schnittpunkte der waagerechten und senkrechten Gitterlinien des Meßtischblattes (topographische Karte 1 : 25 000) bestimmten Punkte gewählt. Da sich wegen schwieriger Geländeverhältnisse bzw. wegen der Unzugänglichkeit der Grundstücke in einigen Fällen die Einhaltung der theoretischen Meßorte nicht ermöglichen ließ, wurden bei der Auswahl der tatsächlichen Meßorte Abweichungen bis zu 100 m zugelassen. Nähere Auskunft über die Lage der Meßorte und die Ausdehnung der Meßstellennetze gibt Karte 14. Die Pegelmessungen im Rahmen der lufthygienisch-meteorologischen Modelluntersuchung wurden im April 1971 aufgenommen. Den derzeit in der Region Untermain laufenden Untersuchungen sind in der Vergangenheit eine Reihe von Meßprogrammen vorangegangen, wobei sich die Untersuchungen nach der Gitternetzmethode im wesentlichen auf die Messung der Schwefeldioxid- und Staubniederschlagsbelastung beschränken. So werden die Staubpegelmessungen in diesem Gebiet bereits seit dem Jahre 1964 vorgenommen, während im Stadtgebiet von Frankfurt/Main zur Ermittlung der Schwefeldioxidkonzentration jeweils in den Jahren 1965/1966 sowie 1967/1968 ein Immissionsmeßprogramm durchgeführt wurde.

3.3.2. Das Meßnetz

3.3.2.1. Sinn und Zweck des Meßnetzes

Die Messungen dienen der Ermittlung der mittleren großräumigen Immissionsbelastung durch die Schadstoffkomponenten Schwefeldioxid und Staubniederschlag. Darüberhinaus wird bei Vorliegen eines ausreichend umfangreichen Wertekollektivs durch Korrelation mit zuordbaren Meßwerten der Windrichtung und Windgeschwindigkeit Aufschluß über den Einfluß

3.3. Air quality measurements of the Measuring- and Testing Agency

3.3.1. Introduction

Within the framework of the air-hygienical-meteorological model survey in the Untermain region the Measuring and Control Station for the Trade Inspection Agency of the Land Hessen, Kassel, carried out large-scale gauge measurements in the Frankfurt-Offenbach-Hanau-Groß-Krotzenburg region to determine the pollution immission of the strata close to the soil by the components sulfur dioxide and dust deposits. These pollutants were measured by taking samples in grid networks. Both measuring networks (SO_2 and dust deposits) of varying perimeters are located in a survey area ranging from the Hanau-Groß-Krotzenburg distrikt in the east along the river Main as far as Frankfurt-Hoechst. The density is 1 measuring station per sq.km and the SO_2 measuring network comprises 203 measuring points, while the measuring network for dust deposits comprises 142 measuring points. Thus the survey area for SO_2 extends over 176 km² and that for dust deposits over 114 km². This represents about 4.1 % and 2.8 %, respectively, of the total area of the Untermain region. The selected measuring points within these networks have been placed at the intersection points of the horizontal and vertioal grid lines on the survey map (topographic map 1 : 25,000). Since it has been impossible in some cases to stick to the theoretical measuring points because of difficult topographical conditions or the inaccessibility of the plots, deviations of up to 100 m have been permitted for the selection of the real measuring points. Map 14 gives detailed information on the location of the measuring points and the extension of the measuring networks. Gauge measurements for the air-hygienical and meteorological model survey started in April 1971. The present surveys in the Untermain region have been preceded by a series of measurement programmes, and the surveys by the grid network method were essentially limited to measurements of SO_2- and dust-deposits. Dust gauge measurements in this region have been carried out since 1964 while an immission measurement programme to determine the SO_2-concentration was implemented in the Frankfurt city area in 1965/1966 and 1967/1968.

3.3.2. The measuring net

3.3.2.1. Sense and purpose of the measuring net

The measurements are designed to ascertain the average pollution immission by SO_2- and dust-deposits in major areas. Moreover, if sufficiently comprehensive collective data – obtained by correlation with pertinent measuring data on wind direction and wind speed – is available it is expected that they will disclose the influence of these meteorological parameters on the

dieser meteorologischen Parameter auf die Immissionsbelastung einzelner Teilbereiche des Untersuchungsgebietes erwartet. Wie aus Karte 14 unmittelbar ersichtlich, beschränkt sich die Überwachung des Staubniederschlags auf ein kleineres Untersuchungsgebiet. Hier waren die Belastungsschwerpunkte bereits aus den seit 1964 laufenden lufthygienischen Untersuchungen bekannt. Darüberhinaus ist wegen des besonderen Ausbreitungsmechanismus der Grobstäube nicht mit einer Verfrachtung über größere Entfernungen zu rechnen. Demgegenüber wurden in das Untersuchungsgebiet für die Komponente Schwefeldioxid das zwischen den beiden bedeutenden Siedlungs- und Industrieräumen Frankfurt/Main – Offenbach und Hanau gelegene mit aufgelockerter Siedlungsstruktur versehene Gebiet um Mühlheim und Dörnigheim einbezogen. Hier werden insbesondere Aussagen über den lufthygienischen Einfluß von Ballungsgebieten auf das Stadtumland erwartet.

pollution immission in individual parts of the survey area. As it can be seen from map 14, the survey of the dust deposit has been limited to a minor survey area. Here the most important pollution factors were already known from the air-hygienic surveys carried out since 1964. Moreover, in view of the special diffusion mechanism of thick dust it cannot be expected that it will spread over major distances. For the component SO_2 on the other hand, the region around Mühlheim and Dörnigheim, located between the two important housing- and industrial-district of Frankfurt-Offenbach and Hanau, which has a dispersed settlement structure, has been included in the survey area. From this survey it is expected to gain information about the air-hygienical influence of congested areas in the city outskirts.

3.3.2.2. Geräte und Analysenmethoden

Die Probenahmeapparatur zur Ermittlung der Schwefeldioxidkonzentration besteht aus einem mit Pumpe, Gasuhr, Quecksilbermanometer und Thermometer ausgerüsteten Koffer, an den zur Probenahme silikagelgefüllte Adsorptionsrohre aus Quarzglas angeschlossen werden. Zur Vermeidung von Störeinflüssen durch Staub, Feuchtigkeit und Schwefeltrioxid wird dem Adsorptionsrohr eine Phosphorsäurevorlage vorgeschaltet. Die elektrische Versorgung der Apparatur kann unmittelbar aus dem Netz oder über einen eingebauten Akkumulator mit Wechselrichter erfolgen.

3.3.2.2. Applicances and methods of analysis

The sampling equipment to measure the SO_2-concentration consists of a pump, gas-meter, mercury manometer and thermometer assembled in a trunk, to which quartz glass adsorption pipes filled with silicia gel are connected for sampling. To avoid dust, humidity and SO_3 interferences a phosphoric acid input tube is inserted in front of the adsorption pipe. The equipment can be supplied with power either from the public grid or from a built-in accumulator with inverter.

Zur Bestimmung der SO_2-Konzentration in der Atmosphäre wird die zu untersuchende Luft mit Hilfe der Adsorptionsprobenahmeapparatur durch das Adsorptionsrohr gesaugt und das Schwefeldioxid an präpariertem Silikagel quantitativ adsorbiert. Im Laboratorium wird dann das Schwefeldioxid im Wasserstoffstrom bei Temperaturen von ca. 500° C desorbiert und an einem Platinkatalysator zu Schwefelwasserstoff reduziert. Der gebildete Schwefelwasserstoff reagiert mit schwefelsaurer Ammoniummolybdatlösung unter Bildung von Molybdänblau. Die Farbintensität wird photometrisch gemessen (1). Aus den so erhaltenen Extinktionswerten wird entsprechend der für das Verfahren ermittelten Eichfunktion unter Heranziehung der während der Probenahme ermittelten Temperatur- und Druckwerte sowie des Probenahmevolumens die Schwefeldioxidkonzentration berechnet.

In order to measure the SO_2-concentration in the atmosphere the air is sucked in with the aid of the sampling equipment through the adsorption pipe and the SO_2 is quantitatively adsorbed by the prepared silica gel. In the laboratory the SO_2 is desorbed in hydrogen at temperatures of about 500° C and reduced to hydrogen sulphide on a platinum catalyst. The resulting hydrogen sulphide reacts with a sulphuric acid ammonium molybdate solution by forming molybdenum blue. The colour intensity is measured by the photometric method (1). The SO_2-concentration is calculated from the extinction data obtained, in accordance with the calibration function which has been determined for this procedure and by consulting the sampling volume as well as the temperature and pressure data found during the sampling.

Das zum Einsatz kommende Probenahmegerät für die Komponente Staubniederschlag besteht aus einem Auffanggefäß, einem Ständer und einem Schutzkorb. Als Auffanggefäß dient ein serienmäßig hergestelltes Haushaltskonservenglas (DIN 5071) mit einem Glasinhalt von 1,5 l. Der Schutzkorb aus Draht ist am oberen Rand trichterförmig erweitert und wirkt somit auch als Vogelschutz. Während einer Sammelperiode wird im Auffanggefäß der über der Glasöffnung ausfallende atmosphärische Niederschlag (sedimentierender Staubanteil, Regen, Schnee usw.) gesammelt. Die Proben werden im Laboratorium bei 150° C eingedampft und der Eindampfrückstand gravimetrisch bestimmt

The sampling equipment used for the dust component consists of a collecting receptacle, a stand and a protection basket. An ordinary household preserve glass with a content of 1.5 l (DIN 5071) is used as a collecting receptacle. The protection basket made of wire is funnel-shaped at its upper end and thus provides protection also against birds. During the sampling period the atmospheric precipitations (sedimentary dust, rain, snow etc.) are collected in the receptacle. The samples are evaporated in the laboratory at a temperature of 150° C and the residue is measured by the gravimetric method (2). Afterwards the total dust deposits are established in g/sq.m per day, taking into con-

(2). Unter Berücksichtigung der Expositionszeit und der Auffangfläche wird dann der Gesamtstaubniederschlag in g/m² · Tag ermittelt.

sideration the exposition time and the collection area.

3.3.2.3. Stationsbeschreibung

Die Probenahmeorte zur Ermittlung der Schwefeldioxidbelastung werden mit Meßwagen angefahren. Die Probenahme erfolgt aus dem Meßwagen heraus bei einer Ansaughöhe von etwa 1,5 m über Grund. In gleicher Höhe befinden sich auch die Öffnungen der Auffanggefäße bei den – im Gegensatz zu den SO_2-Probenahmegeräten – fest installierten Staubniederschlagsmeßgeräten. Nach Möglichkeit sind die Meßstellen so gewählt worden, daß ein störender Einfluß von Bäumen oder Gebäuden ausgeschlossen werden kann.

3.3.2.3. Description of the measuring stations

The sampling points to measure the SO_2-pollution are covered by survey vehicles. The samples are taken from the vehicle at a suction height of about 1.5 m above the ground. The openings of the collecting receptacles for the dust measurements which – unlike the SO_2-sampling equipment – are installed an fixed points, are at the same level. As far as possible the measuring points have been installed at locations where trees and buildings cannot interfere.

3.3.2.4. Meßdauer und Meßhäufigkeit

Beide Pegelmeßprogramme werden seit Anfang April 1971 durchgeführt. Die Meßvorhaben dauern zur Zeit an und werden voraussichtlich im Frühjahr 1974 beendet sein.

Für das Meßobjekt Schwefeldioxid erfolgt die Stichprobenahme an jeder Meßstelle jede zweite Woche. Das bedeutet, daß innerhalb eines Jahres für jeden Meßpunkt 26 Luftproben zu erwarten sind. Hierbei wird die Probenahmedauer durch das für das Verfahren optimale Probenahmevolumen von 30 l bestimmt. In der Regel ist hierbei mit einem Zeitbedarf von etwa 10 Minuten zu rechnen.

Die Probenahmezeit für das Meßobjekt Staubniederschlag beträgt 30 ± 2 Tage. Zweckmäßigerweise wird für den Wechsel der Staubsammelgefäße der Monatswechsel gewählt. Somit sind innerhalb eines Jahres pro Meßstelle 12 Monatsmittelwerte der Staubniederschlagsbelastung zu erwarten.

3.3.2.4. Duration and frequency of measurements

Both measuring programmes have been carried out since the beginning of April 1971. The measuring projects are still going on and will probably be completed in the spring of 1974.

SO_2 random samples are taken at every measuring point every second week. This means that during one year 26 air samples can be expected from each measuring point. The sampling time depends on the optimal sampling volume of 30 l under this procedure. As a rule each sampling will take about 10 minutes.

The sampling period for dust deposits is 30 ± 2 days. A suitable date to change the dust collecting receptacles is either the beginning or the end of the month. 12 monthly average data on dust pollution per measuring point can thus be expected within one year.

3.3.3. Probenahme

3.3.3.1. Das Meßnetz im Betrieb

Wegen der langjährigen Erfahrung der Meß- und Prüfstelle in der Durchführung von Pegelmeßprogrammen sind erwartungsgemäß keine Schwierigkeiten bei der technischen Durchführung der Meßprogramme in der Region Untermain aufgetreten. Durch den Einsatz von seit Jahren erprobten Meßgeräten und Analysenmethoden konnte die Probenahme unmittelbar nach Erstellung der Meßnetze im vollen Umfang beginnen. Da wegen mangelnder Bereitstellung finanzieller Mittel lediglich zwei Chemielaboranten mit der Probenahme beauftragt werden können, waren bei dem erheblichen Umfang der Untersuchungen Ausfälle in der Probenahme durch Fehlzeiten des Personals nicht zu vermeiden. Insbesondere bei Erkrankungen war eine kurzfristige Bereitstellung von Ersatzpersonal durch die Meß- und Prüfstelle nicht immer möglich, so daß vorwiegend im Jahre 1971 erhebliche Ausfälle zu verzeichnen waren.

3.3.3. Sampling

3.3.3.1. The measuring net in operation

Due to the experience of many years of the measuring and control station in the implementation of measuring programmes there were no difficulties, as expected, during the technical implementation of the measuring programmes in the Untermain region. By using measuring equipment and methods of analysis efficiently tried for years, fullscale sampling could be started immediately after the establishment of the measuring networks. Since only two laboratory assistants can be employed for sampling because of insufficient funds, it was unavoidable that in view of the considerable extent of survey sampling losses occurred due to absence of personnel. Especially in cases of sick-leave of personnel the measuring and control station was not always able to provide replacement personnel on short notice, so that substantial losses occurred especially in 1971.

3.3.3.2. Datenverarbeitung

Für beide Meßobjekte werden handgeschriebene Datenblätter angelegt (Abb. 34 und 35). Entsprechend dem Gang der Probenahme wird ein Teil der Daten unmittelbar während der Probenahme dokumentiert, während die Vervollständigung der Datenblätter nach der Laborauswertung erfolgt. Neben der Bereitstellung der notwendigen kalendarischen, meteorolo-

3.3.3.2. Data processing

For both measuring objects hand-written data forms have been provided (fig. 34 and 35). As the sampling progresses, part of the data are written down immediately during the sampling process, while the data forms are completed after obtained the laboratory results. In addition to the necessary calendar, meteorological and other data all measuring data including

Abb. 34

Fig. 34

MESS- UND PRÜFSTELLE, KASSEL / MEASURING AND TESTING AGENCY,

Measuring object SO_2 / Meßobjekt: ..... Measuring area / Meßgebiet: ..... sheet / Blatt: ..... dated / von .....

Rechts-/Hochwert	Geo-zeit	Charakt.	Datum der Probenahme	Beginn der Probenahme	Temp. °C	V l	pw mm	b mm	E	AK	AK	Einflüsse	Geruch	Luftbild Nr.	Typblatt	Wind Richtung Grad	Wind Geschw. m/s	Sichtweite km	x mg/m³			Datum der Blindwert-Bestimmung	Blindwert	Röhrchen Nr.
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	13 14	15 16	17 18 19 20 21 22	23 24 25 26	27	28 29 30	31 32 33	34 35 36	37 38 39	40 41	42	43 44	45	46	47	48	49 50	51 52	53	54 55 56	57	58 59 60 61 62 63 64	65 66 67 68	69 70 71 72 73	74 75	76 77 78 79 80
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	13 14	15 16	17 18 19 20 21 22	23 24 25 26	27	28 29 30	31 32 33	34 35 36	37 38 39	40 41	42	43 44	45	46	47	48	49 50	51 52	53	54 55 56	57	58 59 60 61 62 63 64	65 66 67 68	69 70 71 72 73	74 75	76 77 78 79 80

Probenahme: ..... sampling — Laborauswertung: ..... laboratory evaluation — Met. Daten: ..... met. data — Prüfung: ..... test

Column no. 1-12 = longitude/latitude, 13-4 = characteristic, 15-16 = component, 17-22 = date of sampling, 23-26 = beginning of sampling, 27-26 = temperature, 45-46 = influences, 47-48 = smell, 49-50 = relative humidity %, 51-52 = weather, 53 = visibility, 54-57 = wind-velocity m/s / direction 00-36, 58 = type of chart, 70-73 = date of blind value fixation, 74-76 = blind value, 77-80 = tube no.

Mögliche Einflüsse auf die Immissionsbelastung am Probenahmeort (Spalte Nr. 45—46, einzutragen bei Probenahme)

00 keine erkennbaren Fremdeinflüsse
01 zusätzliche Einwirkungen durch Kraftfahrzeugverkehr
02 starke Verstaubung der Atmosphäre durch KFZ, Baustelle u. a. während der Probenahme
03 Rauchfahne eines offenen Feuers zeigt auf Immissionsort
04 Rauchfahne eines nahe gelegenen Hauses (Entfernung = 3fache Höhe des Schornsteins) zeigt auf Immissionsort
05 Abgasfahne eines Industrie- bzw. Gewerbebetriebes zeigt auf Immissionsort
06 Sonstige Einwirkungen
07
...
10

Possible influences on the immission load at location of sampling (column no. 45—46, to be inserted when sampling)

00 no percetible strange influence
01 additional influences by traffic
02 considerable dusting of the atmosphere by vehicles, construction ground and others during the sampling
03 trail of an open fire showing to place of immission
04 plume of smoke of a nearby located house (distance = 3fold height of chimney) showing to place of immission
05 plume of exhaust gas of an industrial or trade plant showing to place of immission
06 other influences
07
...
10

Geruch
(Spalte Nr. 47—48, einzutragen bei Probenahme)

00 kein Geruch
01 nicht zu definierender Geruch, schwach wahrnehmbar
02 nicht zu definierender Geruch, stark wahrnehmbar
03 SO_2-Geruch, schwach wahrnehmbar
04 SO_2-Geruch, stark wahrnehmbar
05 H_2S-Geruch, schwach wahrnehmbar
06 H_2S-Geruch, stark wahrnehmbar

Smell
(column no. 47—48, to be inserted when sampling)

00 no smell
01 smell undefinable, hardly perceptible
02 smell undefinable, strongly perceptible
03 SO_2-smell, hardly perceptible
04 SO_2-smell, strongly perceptible
05 H_2S-smell, hardly perceptible
06 H_2S-smell, strongly perceptible

07 Phenol-Geruch, schwach wahrnehmbar
08 Phenol-Geruch, stark wahrnehmbar
09
...
12
97 Geruchssinn gestört
98 Geruchsbeobachtung nicht eingetragen

07 phenol-smell, hardly perceptible
08 phenol-smell, strongly perceptible
09
...
12
97 sense of smell disturbed
98 smell observation not inserted

Wetter zur Beobachtungszeit
(Spalte Nr. 51–52, einzutragen bei Probenahme)

00 keine Bewölkung
01 leicht bewölkt
02 mittlere Bewölkung
03 starke Bewölkung
04 diesig
05 Dunst
06 Nebel
07 starker Nebel; 50 bis 100 m Sicht
08 sehr starker Nebel; < 50 m Sicht
09 nieseln
10 leichter Regen
11 starker Regen
12 Schauer
13 Gewitter
14 Schneeregen
15 leicht schneiend
16 stark schneiend
17 Schneeschauer
18 Hagel
98 Wetterbeobachtung nicht durchgeführt

Weather during time of observation
(column no. 51–52, to be inserted when sampling)

00 no clouding
01 slightly clouding
02 mean clouding
03 thick clouding
04 hazy
05 mist
06 fog
07 heavy fog; visibility 50–100 m
08 very heavy fog; visibility < 50 m
09 drizzle
10 slight rain
11 heavy rain
12 showers
13 thunderstorm
14 sleet
15 light snowing
16 heavy snowing
17 snow shower
18 hail
98 weather observation not carried out

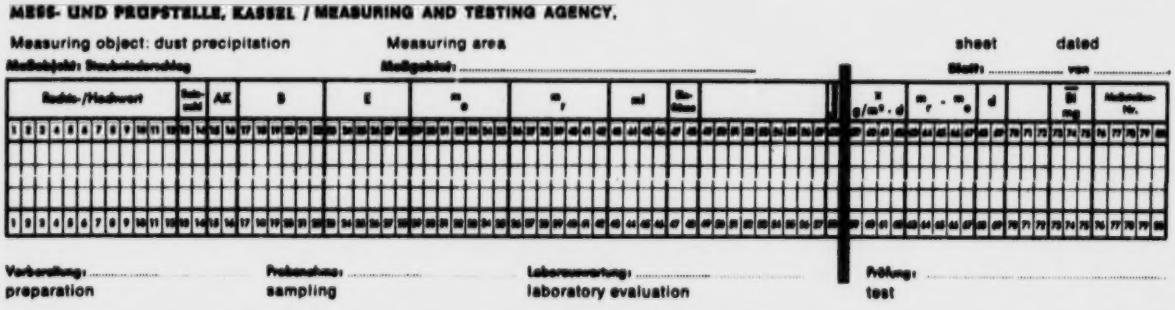
Sichtweite
(Spalte Nr. 53, einzutragen bei Probenahme)

0 bis 0,05 km
1 > 0,05 bis 0,1 km
2 > 0,1 bis 0,5 km
3 > 0,5 bis 1 km
4 > 1,0 bis 2 km
5 > 2 km
6 Sichtweite nicht feststellbar
7 Sichtweite nicht festgestellt

Visibility
(column no. 53, to be inserted when sampling)

0 to 0,05 km
1 > 0,05 to 0,1 km
2 > 0,1 to 0,5 km
3 > 0,5 to 1 km
4 > 1,0 to 2 km
5 > 2 km
6 visibility undetectable
7 visibility not discovered

Abb. 35
Fig. 35



Column no. 1-12 = longitude/latitude, 13-14 = characteristic, 47-48 = influences, 58 = type of chart, 78-80 = measuring station no.

Einflüsse auf die Staubbelastung am Immissionsort (Spalte Nr. 47–48, einzutragen bei Probenahme)

00 keine besonderen Einflüsse
01 Straße, die nur zeitweise im Jahr stark befahren (z. B. Straße zu Schrebergärten, Feldwege ,Schotterwege) bis 100 m Entfernung
02 Straße, die vorübergehend stark befahren (z. B. durch Umleitung) bis 100 m Entfernung
03 Straße, die stark befahren (z. B. BAB, B-Straße) bis 100 m Entfernung
04 Eisenbahnlinie bis 50 m Entferung
05 Baustelle (z. B. Hausbau, Straßenbauarbeiten)
06 Großbaustelle
07 Mögliche Beeinflussung durch Bäume, Sträucher, Hecken usw. bis 30 m Entfernung
08 Einflüsse durch nahegelegene Gewerbe- und Industriebetriebe (Müllplatz, Kohlelager u. a.) im Umkreis von 200 m
09
...
98 keine Beobachtungen durchgeführt

AK-Ausfallkennziffer (Spalte Nr. 15–16, falls erforderlich 01–07 bei der Probenahme einzutragen)

00 Probe in Ordnung
01 Probe sichtbar verunreinigt, z. B. toter Vogel, 5 größere Insekten, Laubblätter mit mehr als 200cm² Gesamtoberfläche (≈ drei Eiche- oder Bucheblätter) u. a.
02 Glasbruch durch Frost u. a
03 Glas entwendet, beschädigt u. a.
04 Meßgerät entwendet, Anzeige ist erfolgt
05 Meßgerät zerstört, umgeworfen, versetzt u. a.
06 Meßgerät vorübergehend abgebaut
07 Sammelvorrichtung konnte nicht gewechselt werden, da Grundstück nicht zugänglich u. a.
08
09
10
11 Probe während der Auswertung im Labor ausgefallen
12
...
21

gischen und sonstigen Daten erfolgt die handschriftliche Dokumentation der Meßgrößen bis zur Erfassung der im Labor ermittelten Daten. Dies bedeutet für das Schwefeldioxid die Angabe der gemessenen Extinktion und für den Staubniederschlag die Niederlegung der Vor- und Rückwaagen der Eindampfschalen. Die weitere mathematisch-statistische Bearbeitung des Datenmaterials erfolgt durch die Hessische Zentrale für Datenverarbeitung in Wiesbaden. Hier werden aus den angegebenen Daten die Einzelwerte der Schadstoffbelastung berechnet und aus den Meßwertkollektiven weitere statistische Kenngrößen gebildet. Die Dokumentation dieser Daten erfolgt über die Ausgabeeinheit der Datenverarbeitungsanlage auf Endlosformularen.

Influences on the dust load at location of immission (column no. 47–48, to be inserted when sampling)

00 no special influences
01 road passed over occasionally during the year up to 100 m distance (for example road to allotments, dust roads, slag roads)
02 road passed over temporarily by heavy traffic up to 100 m distance (for example by diversion)
03 road passed over by heavy traffic up to 100 m distance (for example express- and highways)
04 railroad line up to 50 m distance
05 construction ground (for example building of house, road constructions)
06 large construction ground
07 possible effect by trees, bushes, hedges etc. up to 30 m distance
08 influences by closely by located trade- or industrial plants (dump place, coal stores and others) within a radius of 200 m
09
...
98 no observations carried out

Deficiency key (column no. 15–16, if necessary 01–07 to be inserted when sampling)

00 sample o.k.
01 sample visibly soiled, for example dead bird, 5 larger insects, leafage with more than 200 cm² total surface (three oak tree or beech tree leaves)
02 glass breakage by severe cold and others
03 glass stolen, damaged and others
04 measuring instrument stolen, information lodged
05 measuring instrument destroyed, subverted, displaced and others
06 measuring instrument temporarily removed
07 collection appliance could not be changed, as estate is not accessible and others
08
09
10
11 sample destroyed during evaluation in laboratory
12
...
21

those obtained from the laboratory are written down by hand. This means in case of SO_2 the data on the measured extinction and as regards dust deposits the registration of dust and evaporation weighing results. The additional mathematical-statistical processing of the data is carried out by the Hessian Data Processing Center at Wiesbaden. This agency uses the information to calculate the individual pollution data and establishes further statistical index items from the collective data. These data are registered on endless forms by the output unit of the data processing facility.

3.3.4. Ergebnisse der Immissionsmessungen

Die Meßergebnisse für das Meßjahr 1972–73 lagen bei Druckschluß noch nicht vor. Die Meßergebnisse für das Meßjahr 1971–72 sind im 4. Arbeitsbericht der lufthygienisch-meteorologischen Modelluntersuchung in der Region Untermain, RPU 1972, enthalten.

3.3.4. Results of the immission measurements

The measuring results for 1972/73 had not yet been received when this report was completed. The results for 1971/72 are contained in the 4th working report "Air-hygienic-meteorological Model Survey in the Untermain Region" RPU 1972.

3.3.5. Literatur / Literature:

(1) VDI-Richtlinie 2451:
Messung gasförmiger Immissionen
Messung der Schwefeldioxid-Konzentration
Adsorptionsverfahren (Silikagel)
Beuth-Vertrieb, Köln, August 1968, Blatt 1

(2) VDI-Richtlinie 2119:
Messung partikelförmiger Niederschläge
Bestimmung des partikelförmigen Niederschlags
mit dem Bergerhoff-Gerät (Standardverfahren)
Beuth-Vertrieb, Köln, Juni 1972, Blatt 2

3.4. Luftqualitätsmessungen des Institutes für Wasser-, Boden- und Lufthygiene

3.4.1. Das Meßnetz

3.4.1.1. Sinn und Zweck des Meßnetzes

Für die speziellen luftchemischen Untersuchungen werden einerseits automatische Probenahmen an 3 Stationen und andererseits Stichproben mittels Meßfahrzeugen an 43 Probenahmestellen vorgenommen.

Automatische Probenahmen

Die 3 Meßstationen wurden im Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Frankfurt in der Feldbergstraße, in der Feuerwache nahe dem Bahnhof Frankfurt-Ost und am Südwestrand von Hattersheim eingerichtet. Sie sollen Aussagen über die zeitliche und im begrenzten Maße auch die räumliche Verteilung spezieller Luftfremdstoffe ermöglichen.

Stichproben

Die Anordnung der Meßstellen trägt der Aufgabenstellung Rechnung, den Luftaustausch im Untersuchungsraum zu ermitteln. Bei der Festlegung des Meßstellenplanes wurde davon ausgegangen, daß mit zunehmender Entfernung vom Stadtkern Frankfurts eine Meßstelle ein zunehmend größeres Gebiet repräsentieren kann. Die Meßstellen liegen etwa auf radialen Strahlen mit der Innenstadt Frankfurts als Zentrum. Auf den Strahlen nehmen die Abstände der Meßstellen von der Stadtmitte aus zu. Die Meßstellenanordnung ist in der Karte 14 wiedergegeben. Sie läßt Aussagen insbesondere über die Verteilung von Luftverunreinigungen in Abhängigkeit von der Luftströmung (Windrichtung und -stärke) im Untersuchungsraum erwarten. Die Meßstellendichte wurde durch den akzeptablen Aufwand für Probenahmen mitbedingt.

Jede Meßstelle soll im Prinzip die Luftverunreinigungen in einem mit zunehmender Entfernung von der Innenstadt Frankfurts größer werdenden Gebiet von der Form eines Kreisflächensegments charakterisieren. Wegen dieses Zieles werden sowohl in der Frankfurter Innenstadt als auch in Randgebieten mit dichterer Besiedelung (Höchst, Offenbach) Probenahmen an weiteren Meßstellen vorgenommen.

3.4.1.2. Geräte und Analysenmethoden

An den drei Meßstationen in Frankfurt-Mitte, Frankfurt-Ost und Hattersheim wird mittels automatisch arbeitender Steuergeräte mit Pausen von jeweils 15 Stunden eine Stunde lang Luft durch Impinger gesaugt, deren Inhalt auf Chloride, Fluoride und Phenole analysiert wird. Für Staubkonzentrationsbestimmungen werden High-Volume Sampler eingesetzt.

Die Stichproben-Messungen werden unter Einsatz von 3 Meßwagen ausgeführt, welche sämtliche erforderlichen Probenahme-Apparaturen enthalten. Die Probeluft wird jeweils in etwa 1 m Höhe über Boden angesaugt.

3.4. Air quality measurements of the Institute for Water-, Soil- and Airhygiene

3.4.1. The measuring net

3.4.1.1. Sense and purpose of the measuring net

To carry out the special air-chemical analyses samples are taken automatically at three stations on the one hand, and random tests with measuring vehicles are carried out at 43 sample points on the other hand.

Automatic sampling

The 3 measuring stations have been installed at the Institute for Meteorology and Geophysics of Frankfurt University, Feldbergstrasse, at the "Feuerwache" (firestation) near the railway station Frankfurt-Ost and at the south-western fringe of Hattersheim. They are to provide information about the distribution of special air pollution agents in terms of time and, to a limited extent, also the distribution in terms of space.

Random sample tests

The measuring stations have been located at points permitting to fulfill their task of surveying the air exchange in the survey area. When the measuring station plan was established it was decided that each measuring station would represent an area the size of which would increase the farther it is located from the Frankfurt city center. The stations are located approximately on radial lines drawn from the Frankfurt center. On these lines the distances between the stations increase with their distance from the center. The arrangement of the measuring stations is shown in map 14. Due to this arrangement it can be expected that the stations will provide information on the distribution of air pollution depending on air currents (wind direction and speed) in the survey area. In determining the density of the measuring points, the acceptable expenditure for sample tests was one of the factors taken into consideration.
Each measuring station is to characterize in principle the air pollution in an area which has the form of a circular segment and the size of which increases, the farther it is from the Frankfurt city center. Because of this objective, samples are taken at other measuring stations both in the center of Frankfurt and in the more densely populated outskirts (Hoechst, Offenbach).

3.4.1.2. Appliances and methods of analysis

At three measuring stations in Frankfurt-Center, Frankfurt-East and Hattersheim air is sucked in through impinger for one hour at intervals of 15 hours using automatic sampling equipment and the air is analysed for chlorides, fluoride and phenols contents. High volume samplers are used to measure the concentration of particulate matter.

Random tests are carried out with three measuring vehicles containing all required sampling equipment. The air sample is sucked in at a heigh of 1 m above the ground.

Für die Untersuchungen werden folgende Analysenverfahren eingesetzt:

Schwefeldioxid. Die Probenahmen werden nur bei den Stichprobenmessungen und über eine Dauer von jeweils 30 Minuten vorgenommen. Es wird das Tetrachloromercurat-Verfahren nach WEST und GAEKE angewendet. Als Absorptionsgefäße für das in der Probeluft enthaltene Schwefeldioxid dienen Muencke-Waschflaschen.

Stickstoffdioxid. Die Messungen werden ebenfalls nur im Rahmen des Stichproben-Programms vorgenommen. Die Probenahmedauer beträgt jeweils 30 Minuten. Die Analysen werden nach dem SALTZMAN-Verfahren ausgeführt. Für die Probenahmen werden Frittenwaschflaschen verwendet.

Phenole. Sowohl bei den stationären als auch bei den mobilen Messungen wird die Probeluft eine Stunde lang durch einen mit 0,1 n-NaOH beschickten Impinger gesaugt. Die Analysen werden an einem Anteil der Absorptionslösung photometrisch nach der p-Nitranilin-Methode ausgeführt.

Fluoride. In einem Anteil der für Phenol-Bestimmungen dienenden Absorptionslösung wird der Fluorid-Gehalt mittels ionenspezifischer Elektroden bestimmt.

Chloride. Der Chlorid-Gehalt in den Impinger-Absorptionslösungen, die auch für Phenol- und Fluorid-Bestimmungen dienten, wird mittels der photometrischen Quecksilberrhodanid-Methode analysiert.

Formaldehyd. Bei den Stichprobenmessungen wird die Probeluft eine Stunde lang durch eine Frittenwaschflasche geleitet, die zur Absorption des Formaldehyds destilliertes Wasser enthält. Die Analysen werden photometrisch mittels Sulfit- und Pararosanilin-Reagentien vorgenommen.

Staub. Für die Schwebstaub-Bestimmungen werden High Volume Sampler eingesetzt. An jeder Meßstelle des Stichprobenprogramms wird eine Stunde lang Luft durch ein vortariertes Glasfaserfilter gesaugt. Dabei erstreckt sich die Probenahme für jede Einzelmessung über die drei bis fünf Meßstellen, die ein Meßwagen an einem Untersuchungstag anfährt. Die Meßzeit beträgt also drei bis fünf Stunden, wodurch eine für die gravimetrische Bestimmung ausreichende Staubmenge gesammelt wird. Es wird ein über das Untersuchungsgebiet gemittelter Wert des Schwebstaubgehaltes der Luft erzielt.

Blei. Die Blei-Analysen im Schwebstaub werden atomabsorptionsspektrometrisch ausgeführt. Hierfür wird ein Gerät der Firma Perkin-Elmer (Typ 303) eingesetzt. (Weitere atomabsorptionsspektrometrische Blei-Bestimmungen werden – unter Einsatz einer Graphitrohr-Küvette – an den Staubniederschlagsproben vorgenommen, die von der Meß- und Prüfstelle der Gewerbeaufsichtsverwaltung in Kassel im Raum Untermain gesammelt werden.)

The following analysing procedures are used for the tests:

Sulphur dioxide. Samples are taken only during the random tests and for a duration of 30 minutes each. The tetrachloromercurate procedure according to WEST and GAEKE is applied. Muencke washing bottles are used as absorption receptacles for sulphur dioxide contained in the air sample.

Nitric oxide. These measurements are also made within the random test programme only. Each sample test lasts 30 minutes. Analyses are made according to the SALTZMAN procedure. Fritting wash bottles are used for sampling.

Phenols. Both during stationary and mobile measurements the air sample is sucked through an impinger containing 0.1 n – NaOH for one hour. The analysis is made photo-metrically according to the p-nitraniline method from a portion of the absorption liquid.

Fluoride. The fluoride contents are measured with ion-specific electrodes from a portion of the absorption liquid destined for the phenol analysis.

Chloride. The chloride contents in the impinger absorption liquids, which served also for the phenol- and fluoride-tests, as analysed according to the photometric mercuric thiocyanate method.

Formaldehyde. During the random test measurements the air sample is conducted through a fritting wash bottle containing distilled water to absorb the formaldehyde for one hour. The analyses are made photometrically using sulphite and pararosaniline reagents.

Particulate matter. High volume samplers are used to measure suspended dust. At each random test station the air is sucked for one hour through a pre-tared glass fiber filter. The sampling for each individual measurement is taken at the three to five measuring stations which are visited by one test vehicle on one day of analysis. The measuring time is three to five hours which is required to collect a sufficient quantity of dust for the gravimetric analysis. The result obtained is the average dust content suspended in the air of the survey area.

Lead. The analysis about lead components in the suspended dust is carried out by applying the atom-absorption spectometric method. An equipment manufactured by the firm of Perkin-Elmer (type 303) is used for this purpose. (Further atom-absorption spectometric lead analyses are obtained – using a graphite-pipe cuvette – from dust settlement samples which are collected in the Untermain area by the Monitoring and Testing Agency of the Trade Inspection Office in Kassel.)

3.4.1.3. Stationsbeschreibung

Stationäre Messungen werden an 3 Orten vorgenommen. Dort sind automatisch arbeitende Steuergeräte aufgestellt, mit deren Hilfe bei Pausen von jeweils 15 Stunden eine Stunde lang Luft durch Impinger gesaugt wird, die mit verdünnter Natronlauge beschickt sind. In dieser Absorptionsflüssigkeit werden Chloride, Fluoride und Phenole analysiert. Die Apparatur ermöglicht den Anschluß von 12 Impingern.

Station Meteorologisches Institut. Die Station liegt in einem dicht besiedelten Gebiet im westlichen Teil der Innenstadt von Frankfurt. Hier werden vom Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Frankfurt seit Jahren und so auch im Rahmen der lufthygienischen Modelluntersuchung im Raum Untermain kontinuierliche Luftuntersuchungen mit automatischen Geräten vorgenommen. Die von diesen Messungen vorliegenden Daten bieten sich für Korrelationsanalysen mit den speziellen luftchemischen Untersuchungen des Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene an.

Station Feuerwache. Die Station liegt in einem dicht besiedelten Gebiet im Ostteil der Stadt Frankfurt.

Station Hattersheim. Die Station befindet sich in einem offenen Gelände am Südwestrand von Hattersheim, einer Kleinstadt im westsüdwestlichen Randgebiet des Großraums Frankfurt. An gleicher Stelle werden auch automatische Schwefeldioxid-Bestimmungen durch das Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Frankfurt vorgenommen.

Die Stichprobenmessungen werden vorwiegend in Seitenstraßen vorgenommen, um möglichst eine unmittelbare Beeinflussung der Meßwerte durch Abgase des Kraftverkehrs zu vermeiden. Die Probenahmen werden von parkenden Kombi-Fahrzeugen aus ausgeführt. Die erforderlichen Apparaturen für Bestimmungen der gasförmigen Luftverunreinigungen (Absorptionsgefäße, Pumpen, Gasmengenmesser, Verbindungsstücke, Leitungen etc.) waren auf Gestellen montiert, die als „Einschübe" bei fast jedem Wagentyp eingesetzt werden können.

3.4.1.4. Meßdauer und Meßhäufigkeit

Die Probenahmen im Raum Untermain wurden in den 24 Monaten von April 1971 bis März 1973 vorgenommen.

Die jeweils einstündigen automatischen Probenahmen für Chlorid-, Fluorid- und Phenol-Bestimmungen an 3 Meßstationen werden in jeder 16. Stunde vorgenommen. Die zeitliche Verschiebung ermöglicht die Ermittlung von Tagesgängen der Immissionskonzentration.

Die Stichproben werden in jedem Monat an 3 bis 4 aufeinanderfolgenden Tagen ausgeführt.

3.4.2. Probenahme

3.4.2.1. Das Metznetz in Betrieb

Bei den automatischen Probenahmen traten nur selten technische Störungen auf. Zur Gewährleistung einer recht dichten Probenahmefolge konnten in die-

3.4.1.3. Description of the measuring stations

Stationary measurements are carried out at three stations. The automatic control equipment installed there is used to suck the air through impingers containing diluted soda lye for one hour at intervals of 15 hours. Chlorides, fluoride and phenols are analysed in this absorption liquid. The installation permits the connection of 12 impingers.

Meteorological Institute Station. The station is located in a densely populated district in the western part of the center of Frankfurt. Here the Institute for Meteorology and Geophysics of the University of Frankfurt has carried out continuous air analyses with automatic equipment for years including also the model analysis on air hygienics in the Untermain area. The data derived from these measurements can be used for the correlation analyses with the special air-chemical analyses by the Institute for Water-, Soil- and Air-Hygiene.

Station Feuerwache. This station is located in a densely populated area in the eastern part of Frankfurt.

Station Hattersheim. This station has been installed in an open area at the south-western outskirts of Hattersheim, a small town on the west-south-western fringe of the general area of Frankfurt. At the same station the Institute for Meteorology and Geophysics of the University of Frankfurt is carrying out automatic sulphur dioxide analyses.

Random tests are mostly made in the side streets in order to avoid that the data are directly influenced by motor traffic exhaust gas. The samples are taken by equipment installed in parking station wagons. The necessary equipment for the analysis of air pollution in the form of gas (absorption receptacles, pumps, gas volumenometers, connection joints, lines etc. are installed on racks which can be inserted into almost any type of car.

3.4.1.4. Duration and frequency of measurements

Sample tests in the Untermain area have been carried out during 24 months from April 1971 to March 1973.

One-hour automatic sampling for chloride-, fluoride- and phenol-analyses at 3 measuring stations are carried out every 16 hours. The shift in time permits to analyse the daily development of emmission concentrations.

The random tests are made every month on 3 to 4 consecutive days.

3.4.2. Sampling

3.4.2.1. The measuring net in operation

There was rarely any technical trouble during automatic sampling. In order to guarantee a close succession of sampling operations only analyses carried out

sen Programmteil nur Analysen aufgenommen werden, die an der gleichen Absorptionslösung ausgeführt werden konnten.

Für jeweils einstündige Stichproben an 43 Meßstellen im Untersuchungsraum innerhalb von 3 Tagen ist der Einsatz von 3 Meßwagen erforderlich. Der personelle Aufwand für diese räumlich stark gestreuten Messungen ist also recht hoch. Die Probenahmen werden jeweils so ausgeführt, daß an jedem einzelnen Untersuchungstag die angefahrenen Meßstellen über den gesamten Untersuchungsraum verteilt liegen. Dadurch erhöhen sich die erforderlichen Fahrzeiten beträchtlich, die wegen des starken Kraftfahrzeugverkehrs im Raum Frankfurt ohnehin schon hoch sind.

An 5 ausgewählten Meßstellen (Nr. 19, 22, 25, 28 und 30) wurden während jeder monatlichen Meßperiode des 1. Untersuchungsjahres (1971/1972) 2 Probenahmen ausgeführt (siehe Anhang).

3.4.2.2. Datenverarbeitung

Der hohe Arbeitsaufwand für Probenahme und Analyse bei den speziellen luftchemischen Untersuchungen begrenzt die Anzahl der anfallenden Einzelwerte. Für die statistische Verarbeitung dieser Werte, auch für Korrelationsanalysen in bezug auf andere Luftmeßwerte und Wetterdaten, werden voraussichtlich konventionelle Rechenmaschinen und Tischcomputer ausreichen.

3.4.3. Ergebnisse der Immissionsmessungen

Über die Ergebnisse von speziellen luftchemischen Untersuchungen in der Region Untermain, die in dem Meßjahr von April 1971 bis März 1972 ermittelt wurden, ist im 4. Arbeitsbericht der Regionalen Planungsgemeinschaft Untermain vom Oktober 1972 berichtet worden (s. Karte 15). Diese Messungen wurden in einem zweiten Untersuchungsjahr von April 1972 bis März 1973 fortgesetzt. Die Untersuchungen im Gelände sind damit abgeschlossen. Hier wird über die Ergebnisse des zweiten Untersuchungsjahres berichtet (s. Karte 16). Ein zusammenfassender Bericht über sämtliche Ergebnisse und deren Auswertung im Verhältnis zu automatischen, kontinuierlichen Messungen im Raum Frankfurt wird später erstattet.

Wie im ersten Untersuchungsjahr, erstrecken sich die luftchemischen Analysen auch für den Zeitraum 1972/1973 auf die Bestimmung von Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid, Phenol, Fluorid, Chlorid, Formaldehyd, Staub und Blei. Die Anzahl der Meßstellen wurde nach den Erfahrungen des ersten Meßjahres von 43 auf 26 reduziert. An diesen 26 Stellen waren auch im ersten Meßjahr Probenahmen vorgenommen worden; auch ihre Numerierung ist beibehalten worden. Das Meßprogramm des zweiten Jahres wurde um folgende Untersuchungen erweitert, deren Ergebnisse jedoch erst zu einem späteren Zeitpunkt wiedergegeben werden können:

Schwefelwasserstoff-Immissionsmessungen im Raum Kelsterbach und Untersuchungen über deren Auswirkungen in dem angrenzenden Frankfurter Stadtraum.

with the same absorption liquid could be included into this part of the programme.

To carry out the one-hour random tests at 43 measuring stations in the survey area within 3 days, 3 test vehicles have to be in operation. This means that a considerable number of personnel is required for these measurements over a widespread area. The sampling is done in such a way that on every day of analysis the measuring vehicles cover stations dispersed over the entire survey area. This increases the necessary driving times considerably, which are already long anyway, because of the heavy traffic in the Frankfurt area.

Two samples were taken during each monthly measuring period of the first year of analysis (1971/1972) at 5 selected measuring stations (no. 19, 22, 25, 28 and 30 in the appendix).

3.4.2.2. Data processing

The great amount of work required for sampling and analysis during the special air-chemical analyses limits the number of data items. Conventional calculating machines and table computers will probably be sufficient for the statistical processing of these data and also for the correlation analyses of other measured air data and weather data.

3.4.3. Results of the immission measurements

The 4th working report of the regional Planning Association Untermain of October 1972 gave the results of special air-chemical analyses in the Untermain region during the measuring year from April 1971 to March 1972 (see map 15). These measurements were continued during a second year of analysis from April 1972 to March 1973. This concludes the analyses in the terrain. The following report deals with the results of the second year of analysis (see map 16). A comprehensive report on all the results and their evaluation in relation to the continuous automatic measurements in the Frankfurt area will be submitted later.

As during the first year, the air-chemical analyses during the 1972/73 period were also carried out to measure the concentrations of: SO_2, NO_2, phenol, fluoride, chloride, formaldehyde, dust and lead. The number of measuring stations was reduced from 43 to 26 following the experience of the first year. At these 26 stations samples were taken also during the first year; the station numbers were maintained. The programme of the second year was extended by the following analyses, whose results cannot be given before a later date:

Measurements of hydrogen sulphide immissions in the Kelsterbach area and analyses of their effects in the adjacent Frankfurt city area.

Blei-Bestimmungen in den Staubniederschlägen, die von der Meß- und Prüfstelle der Gewerbeaufsichtsverwaltung des Landes Hessen in Kassel gesammelt wurden (mehrere Tausend Analysen).

Die im Untersuchungsjahr von April 1972 bis März 1973 gemessenen mittleren und maximalen Schwefeldioxid-, Stickstoffdioxid-, Phenol-, Fluorid-, Formaldehyd- und Chlorid-Konzentrationen sind in der Tabelle 1 für jede der 26 Meßstellen im Untersuchungsraum zusammengestellt. An jeder Meßstelle waren in monatlichen Abständen 12 Probenahmen im Verlauf dreitägiger Meßreihen vorgenommen worden. In einer Karte des Untersuchungsraumes sind die mittleren Immissionen an den Meßstellen für jede Substanz graphisch dargestellt. Die Ergebnisse sämtlicher Einzelanalysen des Untersuchungsprogramms sind im Anhang zu diesem Bericht wiedergegeben.

In den Tabellen 2 bis 9 sind die Häufigkeitsverteilungen aller Meßwerte für die einzelnen Substanzen auf verschiedene Konzentrationsklassen dargestellt. Neben den schon in Tabelle 1 enthaltenen Substanzen sind hier auch Angaben über Staub- und Blei-Immissionen aufgeführt. Die Probenahmen für die Staub- und Blei-Bestimmungen erstreckten sich jeweils über mehrere Meßstellen, welche das für die Probenahmen eingesetzte Fahrzeug an einem Meßtag aufsuchte. Die Probenahmezeit erstreckte sich hier also über mehrere Stunden; die Meßstellen waren über den Untersuchungsraum verteilt. Die Tabelle 10 enthält die Mittelwerte der Immissionen für jeden Fremdstoff an jedem der insgesamt 36 Meßtage des Zeitraumes von April 1972 bis März 1973. Die dort aufgeführten Tagesmittelwerte wurden jeweils aus meist 8 bis 9 Einzelwerten von Meßstellen gebildet, die über den Untersuchungsraum verteilt lagen. Bei den Staub- und Blei-Bestimmungen lag die Zahl der Einzelwerte wegen der längeren, sich über mehrere Meßstellen erstreckenden Probenahmedauer entsprechend niedriger.

In den beiden Untersuchungsjahren wurden folgende Jahresmittel und höchste Tagesmittel (in $\mu g/m^3$) erhalten:

	1972/1973		1971/1972	
	maximales Tagesmittel	Jahresmittel	maximales Tagesmittel	Jahresmittel
Schwefeldioxid	201	71	222	87
Stickstoffdioxid	81	48	122	60
Phenole	13	6	13	6
Fluoride	0,98	0,45	2,23	0,74
Formaldehyd	23	5	25	8
Chloride	30	16	57	32
Staub	730	220	620	250
Blei	7,51	1,01	5,18	1,92

Zu dieser Zusammenstellung ist zu vermerken, daß die Anzahl der Einzelproben im ersten Untersuchungsjahr höher als im zweiten war. Die Reduzierung der Meßstellen im zweiten Meßjahr kann jedoch nicht annehmen lassen, daß dadurch eine wesentliche Verschiebung bei der Ermittlung der allgemeinen Immissionssituation im Untersuchungsgebiet eintrat.

Determination of lead concentration in the dust deposits collected by the Monitoring and Testing Agency of the Trade Inspection Office in Kassel (several thousand analyses).

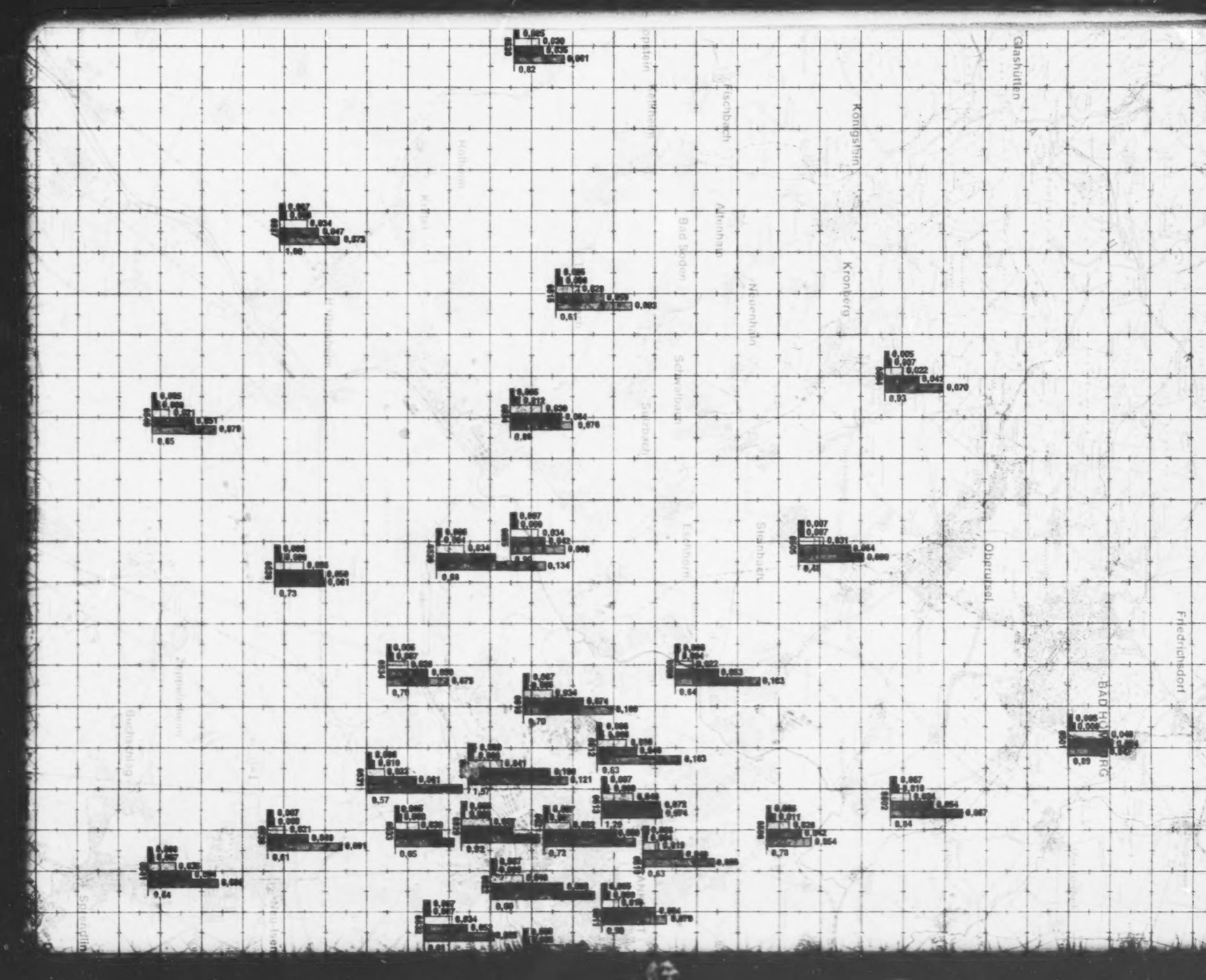
The average and maximum SO_2-, NO_2-, phenol-, fluoride-, formaldehyde- and chloride-concentrations measured in the year of analysis from April 1972 to March 1973 are listed in table 1 for each of the 26 measuring stations in the region. At each measuring station 12 samples were taken during three-day measuring series. The average immissions at the measuring stations are shown graphically for each substance in a map of the region. The results of all individual analyses of the test programme are shown in the appendix to the report.

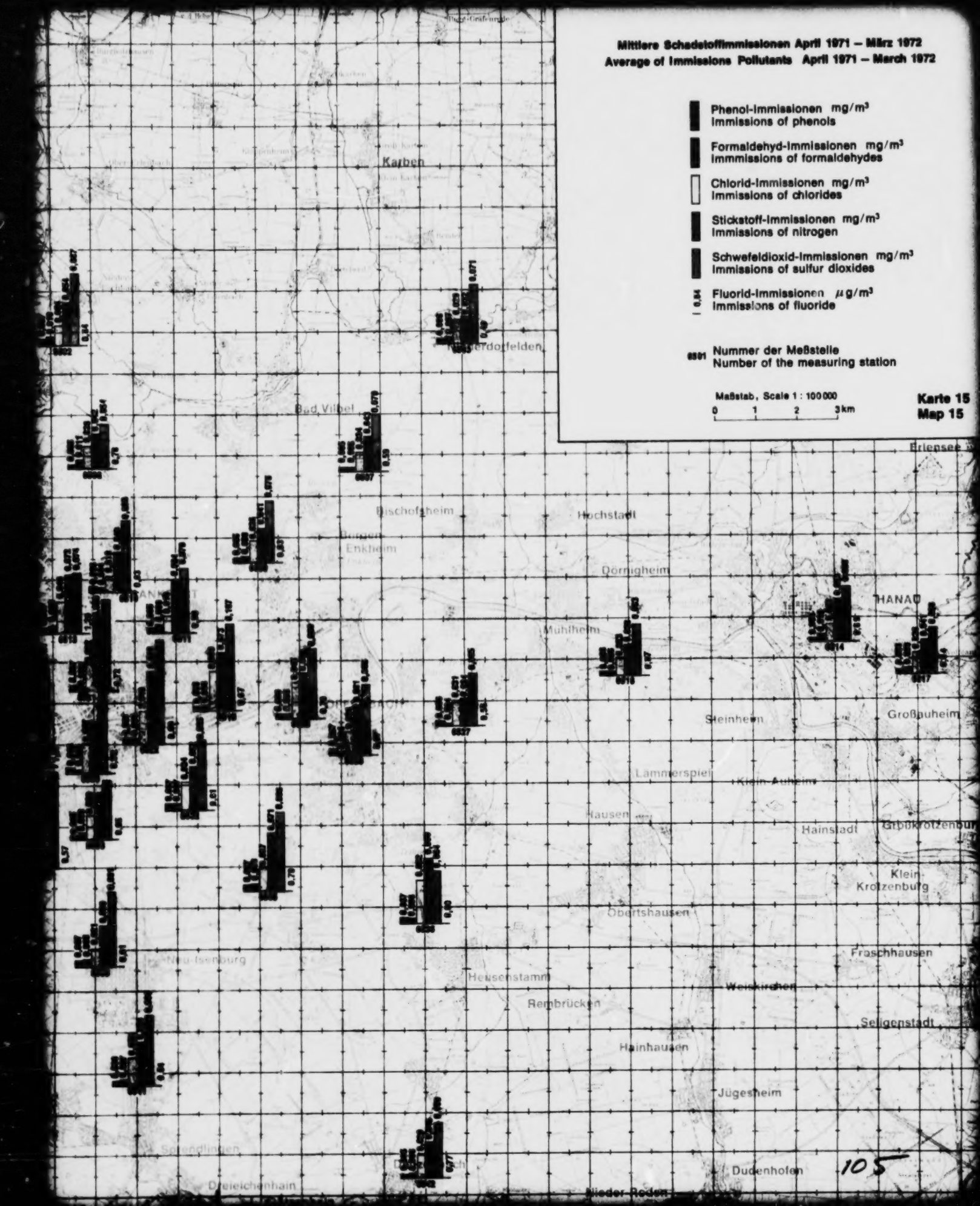
Tables 2–9 show the frequency distribution of all data in various concentration categories for the various substances. In addition to the substances contained in table 1 these tables provide also the data on particulate matter- and lead- immissions. The samples for the particulate matter- and lead-analyses were taken at several measuring stations which were visited by the sampling vehicle on one measuring day. The sampling period thus lasted several hours; the measuring stations were dispersed over the whole analysis region. Table 10 shows the average immission for each pollution agent on each of the 36 measuring days from April 1972 to March 1973. The average daily data contained in that table were composed mostly of 8–9 data items collected at measuring stations which were dispersed over the analysis area. The individual data for particulate matter- and lead-components were less numerous because of the longer sampling period covering several measuring stations.

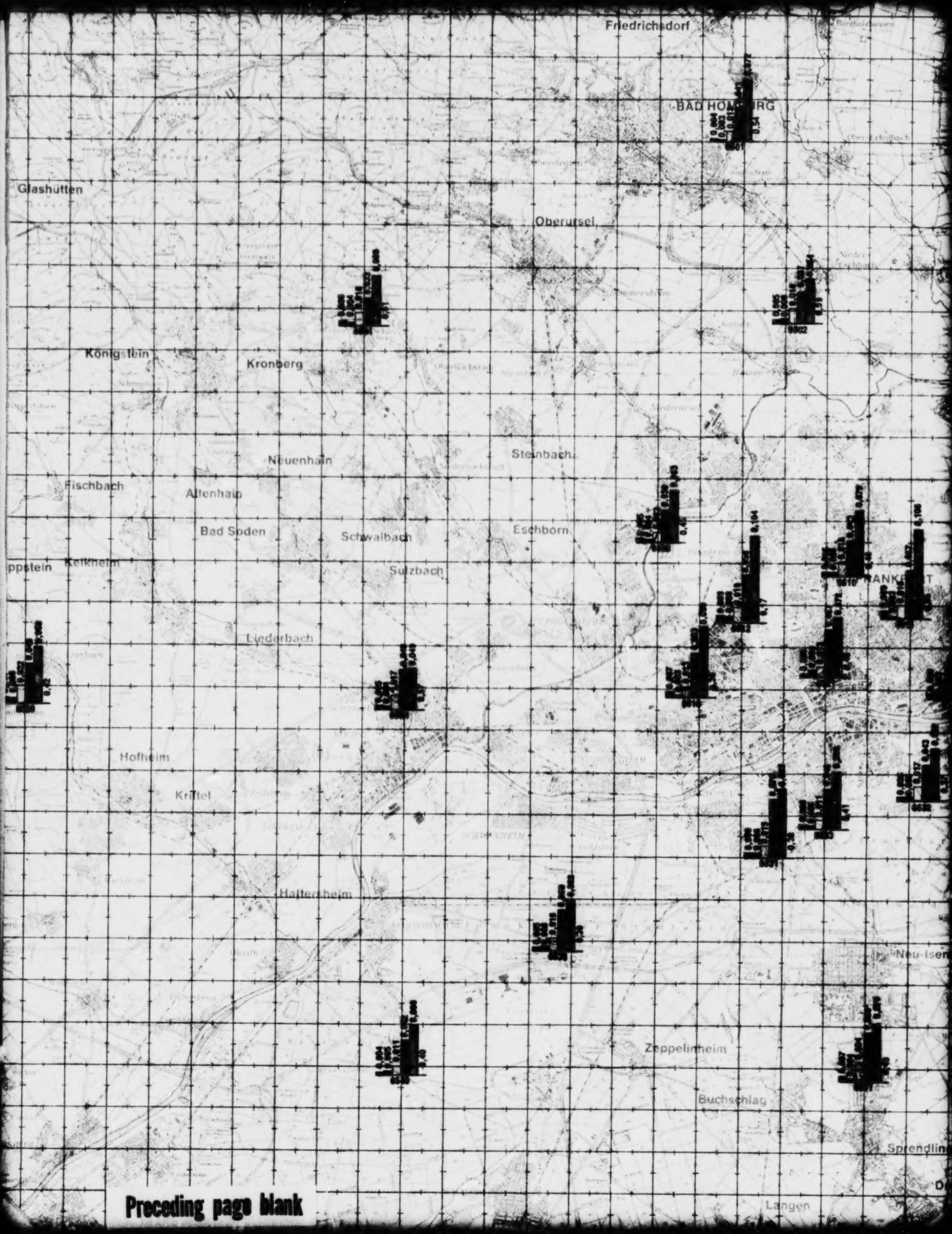
The following annual average and maximum daily average data (in $\mu g/m^3$) were gathered during the two years of analysis:

	1972/1973		1971/1972	
	maximum daily average	annual average	maximum daily average	annual average
SO_2	201	71	222	87
NO_2	81	48	122	60
Phenol	13	6	13	6
Fluoride	0,98	0,45	2,23	0,74
Formaldehyde	23	5	25	8
Chloride	30	16	57	32
Dust	730	220	620	250
Lead	7,51	1,01	5,18	1,92

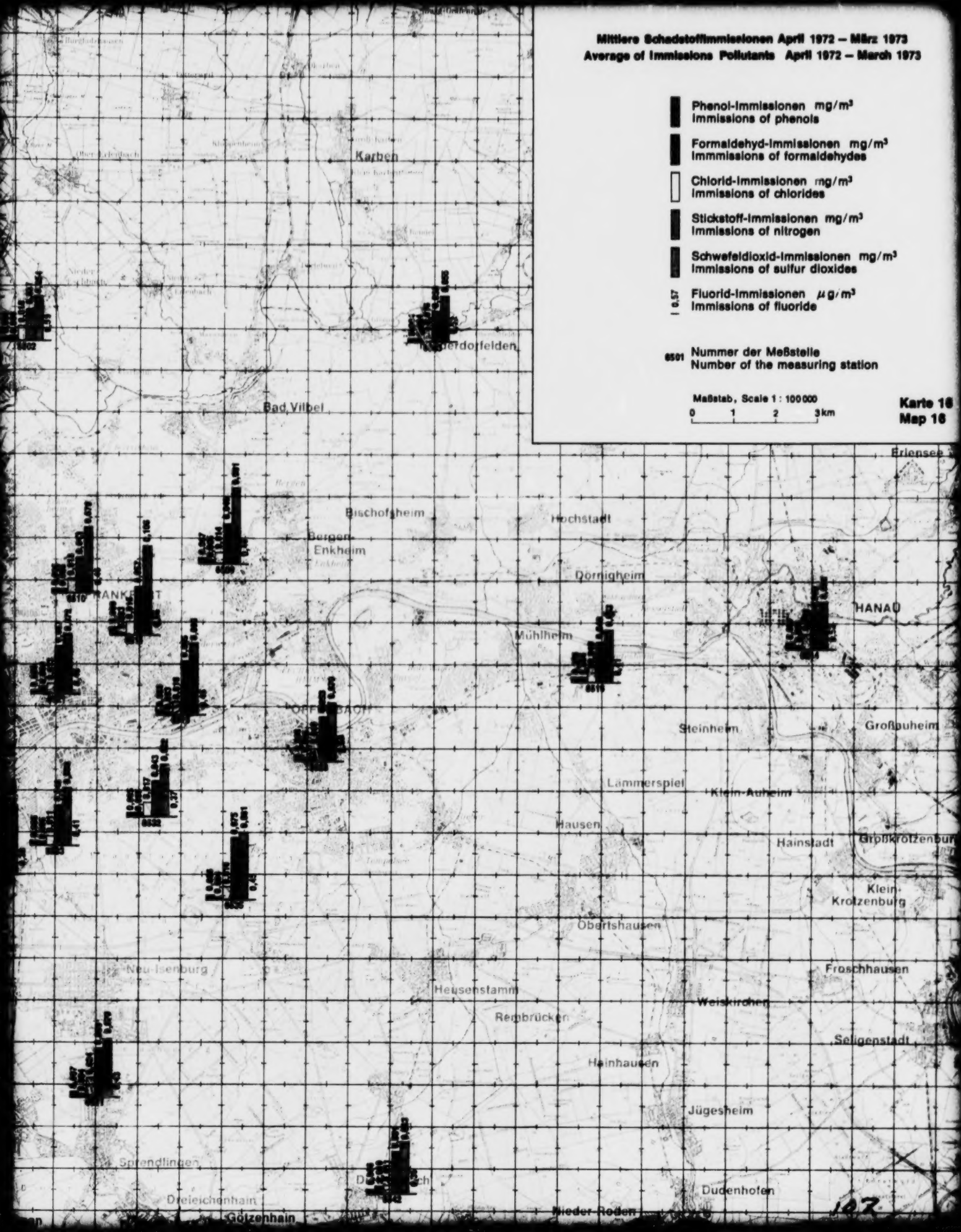
It has to be mentioned with respect to this list that the number of individual samples was higher during the first year of analysis than during the second. There is no reason to assume, however, that the reduction of measuring stations during the second year caused a substantial shift in assessing the general immission situation in the analysis area.


Glashütten
Königstein
Fischbach
Altenhain
Bad Soden
Neuenhain
Kronberg
Schwalbach
Eschborn
Steinbach
Oberursel
Friedrichsdorf
BAD HOMBURG


Mittlere Schadstoffimmissionen April 1971 – März 1972
Average of Immissions Pollutants April 1971 – March 1972
Phenol-Immissionen mg/m³
Immissions of phenols
Formaldehyd-Immissionen mg/m³
Immmissions of formaldehydes
Chlorid-Immissionen mg/m³
Immissions of chlorides
Stickstoff-Immissionen mg/m³
Immissions of nitrogen
Schwefeldioxid-Immissionen mg/m³
Immissions of sulfur dioxides
Fluorid-Immissionen µg/m³
Immissions of fluoride
Nummer der Meßstelle
Number of the measuring station
Maßstab, Scale 1 : 100 000
0 1 2 3 km
Karte 15
Map 15
Karben
Bad Vilbel
Bischofsheim
Hochstadt
Dörnigheim
Mühlheim
HANAU
Steinheim
Großauheim
Lämmerspiel
Klein-Auheim
Hainstadt
Klein-Krotzenburg
Obertshausen
Fraschhausen
Heusenstamm
Rembrücken
Hainhausen
Jügesheim
Dudenhofen
Dreieichenhain
Sprendlingen
Neu-Isenburg
Seligenstadt
105



Preceding page blank


Mittlere Schadstoffimmissionen April 1972 – März 1973
Average of Immissions Pollutants April 1972 – March 1973
Phenol-Immissionen mg/m³
Immissions of phenols
Formaldehyd-Immissionen mg/m³
Immmissions of formaldehydes
Chlorid-Immissionen mg/m³
Immissions of chlorides
Stickstoff-Immissionen mg/m³
Immissions of nitrogen
Schwefeldioxid-Immissionen mg/m³
Immissions of sulfur dioxides
Fluorid-Immissionen µg/m³
Immissions of fluoride
Nummer der Meßstelle
Number of the measuring station
Maßstab, Scale 1 : 100000
0 1 2 3km
Karte 16
Map 16
Karben
Bad Vilbel
Bischofsheim
Bergen-Enkheim
Hochstadt
Dornigheim
Mühlheim
HANAU
Steinheim
Großauheim
Lämmerspiel
Klein-Auheim
Hausen
Hainstadt
Großkrotzenburg
Klein-Krotzenburg
Obertshausen
Froschhausen
Neu-Isenburg
Heusenstamm
Weiskirchen
Rembrücken
Seligenstadt
Heinhausen
Jügesheim
Sprendlingen
Dudenhofen
Dreieichenhain
Götzenhain
Nieder-Roden
Erlensee

Mittlere (a) und maximale (b) Immissionen in $\mu g/m^3$ an 26 Meßstellen im Raum Untermain, **Tab. 1:**
April 1972 – März 1973

Average (a) and maximum (b) immissions in $\mu g/m^3$ at 26 measuring stations in the Untermain area **Table 1:**
April 1972 – March 1973

Meßstelle / Measuring station		SO_2 / SO_2	NO_2 / NO_2	Phenol / Phenol	Fluoride / Fluoride	Formaldehyd / Formaldehyde	Chloride / Chloride
1	a	72	41	4	0,54	3	13
	b	283	64	7	0,85	7	24
2	a	60	33	6	0,51	4	16
	b	252	74	11	0,88	14	25
3	a	54	37	5	0,59	6	18
	b	247	94	11	1,09	33	34
4	a	55	36	4	0,52	4	16
	b	131	61	9	0,94	10	30
8	a	63	39	5	0,45	4	12
	b	167	57	11	0,96	11	29
9	a	91	48	7	0,46	5	14
	b	255	107	13	0,98	10	27
10	a	79	43	6	0,46	5	18
	b	233	84	10	0,79	10	41
11	a	104	58	9	0,47	8	19
	b	261	89	21	1,19	23	35
13	a	106	57	9	0,56	3	16
	b	367	93	17	1,20	7	34
14	a	56	46	7	0,52	4	18
	b	131	88	14	1,06	8	42
16	a	63	49	6	0,41	6	19
	b	151	79	19	0,95	16	32
18	a	68	48	7	0,42	6	22
	b	187	80	14	0,89	17	38
19	a	49	49	5	0,57	4	17
	b	118	102	9	1,01	9	33
21	a	85	53	7	0,35	3	13
	b	190	80	13	0,77	8	36
23	a	72	61	5	0,46	9	13
	b	223	104	13	1,00	52	22
25	a	86	65	6	0,45	3	16
	b	165	111	10	1,00	10	44
29	a	70	53	8	0,38	5	15
	b	160	91	23	1,04	15	44
31	a	82	70	6	0,38	6	15
	b	238	157	10	1,17	16	38
32	a	62	43	5	0,37	5	17
	b	170	104	7	0,95	12	34
34	a	69	48	6	0,41	5	11
	b	159	103	18	1,08	23	20
35	a	81	75	6	0,45	4	16
	b	171	133	9	1,11	9	30
38	a	62	50	5	0,39	6	16
	b	177	105	8	0,98	31	36
40	a	60	42	4	0,40	5	11
	b	165	101	7	1,06	15	20
41	a	70	59	7	0,43	4	24
	b	164	93	15	1,05	14	84
42	a	63	51	6	0,35	10	11
	b	212	147	9	0,95	54	18
43	a	55	49	4	0,42	4	13
	b	119	105	8	1,03	12	19

Preceding page blank

Tab. 2: **Häufigkeitsverteilung der SO_2-Konzentrationen in mg/m³ (Mittelwerte über 30 Minuten),**
Meßperiode: April 1972 – März 1973, Stichproben an 26 Meßstellen

Table 2: **Breakdown showing frequency of SO_2-concentrations in mg/m³ (average data over 30 minutes),**
measuring period: April 1972 – March 1973, random tests at 26 measuring stations

Anzahl der Werte Number of data	< 0,05	0,05 – 0,09	0,10 – 0,14	0,15 – 0,19	0,20 – 0,24	0,25 – 0,29	0,30 – 0,34	0,35 – 0,29	Mittelwert mg/m³ Average value mg/m³
312	146	77	46	30	7	5		1	
Anteil in % Percentage	46,8	24,7	14,8	9,6	2,2	1,6		0,3	
Überschreitungshäufigkeit der Klassenobergrenze in % Frequency of excess of the upper limit in %	53,2	28,5	13,7	4,1	1,9	0,3			0,071

Tab. 3: **Häufigkeitsverteilung der NO_2-Konzentrationen in mg/m³ (Mittelwerte über 30 Minuten),**
Meßperiode: April 1972 – März 1973, Stichproben an 26 Meßstellen

Table 3: **Breakdown showing frequency of NO_2-concentrations in mg/m³ (average data over 30 minutes),**
measuring period: April 1972 – March 1973, random tests at 26 measuring stations

Anzahl der Werte Number of data	< 0,05	0,05 – 0,09	0,10 – 0,14	0,15 – 0,19	Mittelwert mg/m³ Average value mg/m³
312	177	130	4	1	
Anteil in % Percentage	56,7	41,3	1,3	0,3	
Überschreitungshäufigkeit der Klassenobergrenze in % Frequency of excess of the upper limit in %	43,3	1,6	0,3		0,05

Tab. 4: **Häufigkeitsverteilung der Phenol-Konzentrationen in mg/m³ (Mittelwerte über 60 Minuten),**
Meßperiode: April 1972 – März 1973, Stichproben an 26 Meßstellen

Table 4: **Breakdown showing frequency of phenol-concentrations in mg/m³ (average data over 60 minutes),**
measuring period: April 1972 – March 1973, random tests at 26 measuring stations

Anzahl der Werte Number of data	< 0,005	0,005 – 0,009	0,010 – 0,014	0,015 – 0,019	0,020 – 0,024	Mittelwert mg/m³ Average value mg/m³
312	135	139	29	7	2	
Anteil in % Percentage	43,3	44,6	9,3	2,2	0,6	
Überschreitungshäufigkeit der Klassenobergrenze in % Frequency of excess of the upper limit in %	56,7	12,1	2,8	0,6		0,006

Häufigkeitsverteilung der Fluor-Konzentrationen in $\mu g/m^3$ (Mittelwerte über 60 Minuten), Tab. 5:
Meßperiode: April 1972 – März 1973, Stichproben an 26 Meßstellen

Breakdown showing frequency of fluor-concentrations in $\mu g/m^3$ (average data over 60 minutes), Table 5:
measuring period: April 1972 – March 1973, random tests at 26 measuring stations

Anzahl der Werte Number of data	< 0,25	0,25 – 0,49	0,50 – 0,74	0,75 – 0,99	1,00 – 1,24	Mittelwert $\mu g/m^3$ Average value $\mu g/m^3$
309	70	130	53	39	17	
Anteil in % Percentage	22,6	42,1	17,2	12,6	5,5	
Überschreitungshäufigkeit der Klassenobergrenze in % Frequency of excess in %	77,4	35,3	18,1	5,5		0,45

Häufigkeitsverteilung der Formaldehyd-Konzentrationen in mg/m^3 (Mittelwerte über 60 Minuten), Tab. 6:
Meßperiode: April 1972 – März 1973, Stichproben an 26 Meßstellen

Breakdown showing frequency of formaldehyde-concentrations in mg/m^3 (average data over 60 minutes), Table 6:
measuring period: April 1972 – March 1973, random tests at 26 measuring stations

Anzahl der Werte Number of data	< 0,005	0,005 – 0,009	0,010 – 0,014	0,015 – 0,019	0,020 – 0,024	0,025 – 0,029	0,030 – 0,034	0,035 – 0,039	0,040 – 0,044	0,045 – 0,049	0,050 – 0,054	Mittelwert Average value mg/m^3
310	185	86	25	8	2		2				2	
Anteil in % Percentage	59,7	27,8	8,1	2,6	0,6		0,6				0,6	
Überschreitungshäufigkeit der Klassenobergrenze in % Frequency of excess of the upper limit in %	40,3	12,5	4,4	1,8	1,2		0,6					0,005

Häufigkeitsverteilung der Chlorid-Konzentrationen in mg/m^3 (Mittelwerte über 60 Minuten), Tab. 7:
Meßperiode: April 1972 – März 1973, Stichproben an 26 Meßstellen

Breakdown showing frequency of chloride-concentrations in mg/m^3 (average data over 60 minutes), Table 7:
measuring period: April 1972 – March 1973, random tests at 26 measuring stations

Anzahl der Werte Number of data	< 0,05	0,05 – 0,09	0,10 – 0,14	Mittelwert mg/m^3 Average value mg/m^3
311	309	2		
Anteil in % Percentage	99,4	0,6		
Überschreitungshäufigkeit der Klassenobergrenze in % Frequency of excess of the upper limit in %	0,6			0,016

Tab. 8: **Häufigkeitsverteilung der Staub-Konzentrationen in mg/m³ (Mittelwerte über 3 – 5 Stunden),**
Meßperiode: April 1972 – März 1973, Stichproben an 26 Meßstellen

Table 8: **Breakdown showing frequency of particulate matter-concentrations in mg/m³ (average data over 3 – 5 hours),**
measuring period: April 1972 – March 1973, random tests at 26 measuring stations

Anzahl der Werte Number of data	< 0,10	0,10 – 0,19	0,20 – 0,29	0,03 – 0,39	0,40 – 0,49	0,50 – 0,59	0,60 – 0,69	0,70 – 0,79	0,80 – 0,89	0,90 – 0,99	1,00 – 1,09	Mittelwert Average value mg/m³
72	7	29	24	4	4	3					1	
Anteil in % Percentage	9,7	40,2	33,3	5,6	5,6	4,2					1,4	
Überschreitungshäufigkeit der Klassenobergrenze in % Frequency of excess of the upper limit in %	90,3	50,1	16,8	11,2	5,6	1,4						0,22

Tab. 9: **Häufigkeitsverteilung der Blei-Konzentrationen in µg/m³ (Mittelwerte über 3 – 5 Stunden),**
Meßperiode: April 1972 – März 1973, Stichproben an 26 Meßstellen

Table 9: **Breakdown showing frequency of lead-concentrations in µg/m³ (average data over 3 – 5 hours),**
measuring period: April 1972 – March 1973, random tests at 26 measuring stations

Anzahl der Werte Number of data	< 1	1,00 – 1,99	2,00 – 2,99	3,00 – 3,99	4,00 – 4,99	5,00 – 5,99	6,00 – 6,99	7,00 – 7,99	8,00 – 8,99	9,00 – 9,99	10,00 – 10,99	11,00 – 11,99	12,00 – 12,99	Mittelwert Aver. value µg/m³
72	21	36	8	2	2	1		1					1	
Anteil in % Percentage	29,1	50,0	11,1	2,8	2,8	1,4		1,4					1,4	
Überschreitungshäufigkeit der Klassenobergrenze in % Frequency of excess of the upper limit in %	70,9	20,9	9,8	7,0	4,2	2,8		1,4						1,77

Die im Untersuchungsjahr 1972/1973 gemessenen Immissionen lagen in den meisten Fällen sowohl bei dem Jahresmittel als auch bei dem maximalen Tagesmittel niedriger als im Vorjahr.

Die räumliche Verteilung der Fremdstoff-Konzentrationen im Meßjahr 1972/1973 zeigte bei einer ersten Auswertung nur beim Schwefeldioxid einen eindeutigen Schwerpunkt im inneren Stadtgebiet von Frankfurt.

Die Tabellen 11, 12 und 13 zeigen die Monatsmittel der stationären Meßstellen an den Stationen Hattersheim, Feuerwache und Meteorologisches Institut. Dort wurden in bestimmten Intervallen einstündige Probenahmen für Phenol-, Chlorid- und Fluorid-Bestimmungen sowie eintägige Probenahmen für Staub- und Blei-Bestimmungen vorgenommen. Grundsätzlich passen sich die Ergebnisse dieser zeitlich dichteren

The immissions measured in 1972/1973 were in most cases lower than during the previous year, both in the annual average as in the maximum daily average.

As far as the distribution of pollution concentrations over the region during the analysis year of 1972/1973 is concerned, a first analysis showed that only sulphur dioxide predominated clearly in the center of Frankfurt.

Tables 11, 12 and 13 show the monthly average of the stationary measuring stations at Hattersheim, Feuerwache and the Meteorological Institute. At these stations one-hour samples for phenol-, chloride- and fluoride-analyses were taken at certain intervals, and samples for particulate matter and lead analyses were taken during one day. The results of these frequent measurements within a shorter time at a few stations

Tagesmittelwerte der Stichprobenmessungen **Tab. 10:**

Daily average data during random tests **Table 10:**

Meßtag Measuring date	Phenol mg/m³ Phenol mg/m³	Chloride mg/m³ Chloride mg/m³	Fluor µg/m³ Fluor µg/m³	Formaldehyd mg/m³ Formaldehyde mg/m³	SO_2 mg/m³ SO_2 mg/m³	NO_2 mg/m³ NO_2 mg/m³	Staub mg/m³ Dust mg/m³	Blei µg/m³ Lead µg/m³	% Blei im Staub Lead percentage in dust
17. 4. 1972	0,004	0,021	0,46	0,008	0,039	0,018	0,23	0,89	0,47
18. 4. 1972	0,004	0,016	0,37	0,002	0,082	0,033	0,23	1,81	0,76
19. 4. 1972	0,004	0,013	0,35	0,005	0,039	0,016	0,12	1,15	0,91
16. 5. 1972	0,005	0,010	0,30	0,012	0,001	0,047	0,73	5,07	0,71
17. 5. 1972	0,003	0,006	0,28	0,002	0,001	0,040	0,16	1,09	0,68
18. 5. 1972	0,003	0,010	0,29	0,005	< 0,001	0,040	0,08	1,00	1,65
12. 6. 1972	0,006	0,020	0,39	0,008	0,045	0,057	0,11	3,36	3,05
13. 6. 1972	0,004	0,011	0,33	0,009	0,075	0,047	0,21	1,22	0,60
14. 6. 1972	0,004	0,015	0,32	0,002	0,039	0,033	0,14	0,98	0,49
3. 7. 1972	0,005	0,013	0,50	0,009	0,034	0,033	0,15	1,22	0,85
4. 7. 1972	0,004	0,007	0,42	0,005	0,060	0,034	0,27	1,00	0,48
5. 7. 1972	0,006	0,009	0,37	0,011	0,065	0,037	0,11	0,92	0,85
21. 8. 1972	0,004	0,015	0,98	0,010	0,008	0,051	0,14	1,45	1,12
22. 8. 1972	0,007	0,015	0,95	0,004	0,018	0,039	0,18	2,50	1,45
23. 8. 1972	0,004	0,015	0,94	0,006	0,006	0,029	0,08	0,91	1,08
26. 9. 1972	0,004	0,024	0,22	0,007	0,035	0,027	0,11	0,91	0,98
27. 9. 1972	0,007	0,025	0,34	0,006	0,044	0,048	0,21	1,95	0,94
28. 9. 1972	0,009	0,030	0,24	0,004	0,049	0,060	0,09	1,64	1,87
17. 10. 1972	0,009	0,019	0,32	0,002	0,081	0,067	0,23	1,19	0,50
18. 10. 1972	0,004	0,016	0,25	0,003	0,048	0,036	0,28	0,86	0,30
19. 10. 1972	0,009	0,017	0,19	0,003	0,083	0,039	0,16	1,56	0,96
14. 11. 1972	0,006	0,017	0,24	0,023	0,028	0,060	0,15	7,15	6,66
15. 11. 1972	0,006	0,020	0,08	0,007	0,065	0,044	0,24	1,15	0,48
16. 11. 1972	0,010	0,026	0,06	0,006	0,091	0,045	0,16	1,34	0,82
12. 12. 1972	0,008	0,017	0,71	0,004	0,093	0,068	0,22	1,43	0,66
13. 12. 1972	0,006	0,016	0,75	0,001	0,145	0,065	0,32	1,53	0,50
14. 12. 1972	0,007	0,018	0,72	0,004	0,201	0,069	0,44	2,58	0,58
23. 1. 1973	0,008	0,026	0,54	0,002	0,138	0,081	0,19	1,82	1,06
24. 1. 1973	0,007	0,015	0,39	0,003	0,094	0,060	0,25	1,86	0,25
25. 1. 1973	0,013	0,025	0,50	0,003	0,174	0,055	0,20	1,18	0,63
20. 2. 1973	0,008	0,016	0,41	0,001	0,198	0,060	0,20	2,07	1,07
21. 2. 1973	0,006	0,011	0,58	0,001	0,109	0,052	0,29	1,44	0,53
22. 2. 1973	0,004	0,007	0,37	0,003	0,095	0,045	0,41	2,98	0,75
27. 3. 1973	0,006	0,016	0,65	0,002	0,140	0,079	0,28	1,38	0,51
28. 3. 1973	0,004	0,011	0,66	0,003	0,079	0,071	0,40	2,02	0,48
29. 3. 1973	0,003	0,015	0,65	0,003	0,047	0,041	0,41	0,85	0,22
Gesamtmittel Average total	0,006	0,016	0,45	0,005	0,071	0,048	0,22	1,77	1,01

Messungen an wenigen Stellen in das Bild der Ergebnisse von den Stichprobenmessungen an den oben geschilderten 26 Probenahmestellen ein.

agree in principle with the results of random sampling at the 26 sampling points mentioned above.

In bezug auf die bis zur Zeit festgelegten Maximalen Immissions-Konzentrationen (MIK-Werte der VDI-Kommission Reinhaltung der Luft) und Immissionsgrenzwerte (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) stellen von den im zweiten Untersuchungsjahr gemessenen Werten nur die beiden Höchstwerte der Formaldehyd-Konzentrationen (vgl. Tabelle 6) eine Überschreitung des MIK-Dauerwertes von 30 µg/m³ dar (für die Meßperiode April 1971 bis März 1972 vgl. Tabelle 14).

In regard of the maximum immission concentrations (MIK data quoted by the VDI Commission "Keep the Air Clean") and immission limits (Technical directive to keep the air clean), established up to now, only the two maximum formaldehyde-concentrations (see table 6) of the data measured during the second year of analysis exceeded the permanent MIK value of 30 µg/m³ (for the period of April 1971 – March 1972 see table 14).

Tab. 11: **Monatsmittel der stationären Messungen, Station Hattersheim**

Table 11: **Monthly average of stationary measurements at Hattersheim station**

Monat		Phenol Anzahl der Werte	Phenol Mittel mg/m³	Chloride Anzahl der Werte	Chloride Mittel mg/m³	Fluor Anzahl der Werte	Fluor Mittel µg/m³	Staub Anzahl der Werte	Staub Mittel mg/m³	Blei Anzahl der Werte	Blei Mittel µg/m³
Month		Phenol Total of data	Phenol Average mg/m³	Chlorides Total of data	Chlorides Average mg/m³	Fluor Total of data	Fluor Average µg/m³	Dust Total of data	Dust Average mg/m³	Lead Total of data	Lead Average µg/m³
April	1972	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Mai	1967	12	0,004	12	0,048	12	0,28	–	–	–	–
Juni	1972	12	0,003	12	0,040	12	0,91	–	–	–	–
Juli	1972	29	0,003	29	0,027	29	0,50	1	0,10	1	0,37
August	1972	19	0,007	19	0,035	19	0,35	2	0,06	2	0,19
September	1972	24	0,004	24	0,022	24	0,32	1	0,16	1	0,51
Oktober	1972	24	0,004	24	0,014	25	0,13	4	0,08	4	0,94
November	1972	23	0,003	23	0,020	27	0,41	3	0,07	3	0,57
Dezember	1972	8	0,004	8	0,016	8	0,21	2	0,08	2	0,52
Januar	1973	38	0,003	38	0,013	38	0,57	1	0,05	1	0,26
Februar	1973	35	0,002	35	0,016	35	0,40	2	0,09	2	0,57
März	1973	35	0,002	35	0,016	23	0,10	–	–	–	–
Jahr Annual total		247	0,004	247	0,021	252	0,38	16	0,08	16	0,57

Tab. 12: **Monatsmittel der stationären Messungen, Station Feuerwache**

Table 12: **Monthly average of stationary measurements at Feuerwache station**

Monat		Phenol Anzahl der Werte	Phenol Mittel mg/m³	Chloride Anzahl der Werte	Chloride Mittel mg/m³	Fluor Anzahl der Werte	Fluor Mittel µg/m³	Staub Anzahl der Werte	Staub Mittel mg/m³	Blei Anzahl der Werte	Blei Mittel µg/m³
Month		Phenol Total of data	Phenol Average mg/m³	Chlorides Total of data	Chlorides Average mg/m³	Fluor Total of data	Fluor Average µg/m³	Dust Total of data	Dust Average mg/m³	Lead Total of data	Lead Average µg/m³
April	1972	28	0,004	28	0,018	28	0,22	2	0,11	2	0,60
Mai	1972	26	0,006	26	0,031	26	0,33	2	0,88	2	0,68
Juni	1972	32	0,004	32	0,027	32	0,38	2	0,07	2	0,57
Juli	1972	35	0,004	35	0,027	35	0,40	–	–	–	–
August	1972	19	0,007	19	0,034	19	0,38	–	–	–	–
September	1972	31	0,007	31	0,025	31	0,07	4	0,08	4	0,91
Oktober	1972	30	0,005	30	0,017	30	0,14	–	–	–	–
November	1972	28	0,006	28	0,020	28	0,17	–	–	–	–
Dezember	1972	31	0,070	31	0,015	31	0,44	–	–	–	–
Januar	1973	27	0,008	27	0,017	27	0,51	–	–	–	–
Februar	1973	21	0,007	21	0,017	21	0,50	–	–	–	–
März	1973	24	0,006	24	0,020	24	0,26	–	–	–	–
Jahr Annual total		332	0,006	332	0,022	332	0,31	10	0,08	10	0,73

Nach Abschluß der Probenahmen im Untersuchungsraum und Ausführung der Analysen (mit Ausnahme von noch verbleibenden Blei-Bestimmungen in Stäuben) ist das gesamte Wertematerial einer abschließenden Auswertung in bezug auf räumliche und zeitliche Verteilung der Immissionen in bezug auf Einflüsse von Wetterparametern und auf Korrelation der

After the completion of the sampling in the survey area and the implementation of the analyses (with the exception of the remaining lead components in dust deposits) the whole data material has to undergo a final scoring with respect to the distribution of immissions in terms of space and time, the influence of weather parameters and the correlation of the special air-

speziellen luftchemischen Analysenergebnisse mit den fortlaufenden automatischen Messungen an den insbesondere in der Frankfurter Innenstadt betriebenen Stationen zu unterziehen.

chemical analysis with the permanent automatic measurements at the stations, in particular those in the center of Frankfurt.

Monatsmittel der stationären Messungen, Station Meteorologisches Institut **Tab. 13:**

Monthly average of stationary measurements at the Meteorological Institute **Table 13:**

Monat / Month		Phenol: Anzahl der Werte / Total of data	Phenol: Mittel mg/m³ / Average mg/m³	Chloride: Anzahl der Werte / Total of data	Chloride: Mittel mg/m³ / Average mg/m³	Fluor: Anzahl der Werte / Total of data	Fluor: Mittel µg/m³ / Average µg/m³
April	1972	31	0,004	31	0,014	31	0,17
Mai	1972	20	0,003	20	0,019	20	0,20
Juni	1972	22	0,004	22	0,020	22	0,64
Juli	1972	37	0,003	37	0,021	37	0,55
August	1972	17	0,006	17	0,025	17	0,06
September	1972	27	0,005	27	0,017	27	0,09
Oktober	1972	28	0,004	28	0,015	28	0,07
November	1972	35	0,005	35	0,016	35	0,15
Dezember	1972	17	0,006	18	0,017	18	0,27
Januar	1973	27	0,007	27	0,011	27	0,35
Februar	1973	33	0,004	33	0,016	33	0,43
März	1973	24	0,005	24	0,013	24	0,22
Jahr / Annual total		318	0,005	319	0,017	319	0,28

Übersicht über Ergebnisse von Stichproben-Immissions-Messungen in µg/m³ im Raum Untermain, **Tab. 14:**

Meßperiode: April 1971 – März 1972

Survey of the results of the random immission measurements in µg/m³ in the Untermain area, **Table 14:**

measuring period: April 1971 – March 1972

Substanz / Substance	Anzahl der Einzelwerte / Total of single data item	Jahresmittel / Annual average	Höchster Tagesmittelwert / Highest average daily data item	Höchster Einzelwert / Highest single data item	Miximale Immissions-Konzentration (MIK-Wert) Maximum immission concentration: Dauerwert / permanent data item	Kurzzeitwert / short-time data item
Schwefeldioxid / Sulphur dioxide	547	87	222	479	500	750
Stickstoffdioxid / Nitrogen dioxide	550	60	122	256	1000	2000
Phenole / Phenols	550	6	13	24	200	600
Fluoride / Fluorides	550	0,74	2,23	3,41		
Formaldehyd / Formaldehyde	550	8	25	69	30	70
Chloride / Chlorides	551	32	57	166		
Staub / Dust	127	250	620	1200		
Blei / Lead	126	1,92	5,18	9,87		

4. Luftqualitätsmessungen infolge von Immissionswirkungen auf Flechten – Flechten als Bioindikatoren

4.1. Einführung

Die Immissionsbelastung eines bestimmten Raumes wirkt sich sowohl auf Sachgegenstände als auch auf die Organismen aus. Während Meßgeräte selektiv bestimmte Komponenten der in der Luft vorhandenen Schadstoffe erfassen, reagieren Lebewesen in der Regel auf den Gesamtkomplex der Immissionen. Schon 1866 fiel NYLANDER (5) auf, daß die zu den niederen Pflanzen gehörenden Flechten durch Absterben auf schädigende Stadteinflüsse reagieren und sich damit als Indikatoren zur Beurteilung der Luftqualität heranziehen lassen.

Für ihre Empfindlichkeit gegenüber Schadstoffen der Luft werden im allgemeinen folgende Gründe angeführt:

Im Gegensatz zu höheren Pflanzen besitzen Flechten weder Spaltöffnungen noch eine schützende Cuticula. Infolgedessen haben sie keine Möglichkeit, ihren Gasaustausch zu kontrollieren; Schadstoffe dringen ungehindert in den Flechtenkörper und werden dort zu letalen Konzentrationen akkumuliert. Ein Ausscheidungssystem (z. B. Laubfall) fehlt, so daß Schadstoffe nicht abgestoßen werden können. Die Hauptstoffwechselaktivität der Flechten liegt – im Gegensatz zu höheren Pflanzen – im Winterhalbjahr. Dies ist die Zeit erhöhter Immissionsbelastung. Außerdem können Flechten aufgetretene Schäden kaum kompensieren, da sie nur eine sehr beschränkte Regenerationsfähigkeit besitzen. Zur Beurteilung der lufthygienischen Verhältnisse eines Areals bietet sich zum einen die Kartierung des natürlichen Flechtenvorkommens an. Während diese Methode eine Aussage über die langjährige durchschnittliche Immissionsbelastung des untersuchten Raumes ermöglicht, ist mit Hilfe explantierter Flechten auch die Kurzzeitbelastung feststellbar (9).

4.2. Kartierung des natürlichen Flechtenvorkommens

4.2.1. Methode (10)

An 150 Beobachtungsstationen, die möglichst gleichmäßig über das Untersuchungsgebiet verteilt waren, wurde jeweils die Borke von 10 Apfelbäumen – dem häufigsten freistehenden Baum im Areal – auf ihren Flechtenbewuchs hin untersucht. Durch Beschränkung auf nur eine Baumart sollte gewährleistet werden, daß alle für das Flechtenwachstum wesentlichen Faktoren – mit Ausnahme der Immissionseinwirkung – möglichst konstant gehalten wurden. Nach LE BLANC und DE SLOOVER (4) konnte für jede Station aus dem Flechtenvorkommen ein Luftreinheitsindex (IAP) = Σ (Q · f) (geändert) errechnet werden, der eine Aussage über die mittlere langfristige Immissionssituation ermöglicht.

„Q", der Toxitoleranzfaktor, ist für jede Flechtenart eine unveränderliche Größe, die ausdrückt, mit wievie-

4. Air quality measurements on account of immission influences on lichens – lichens as bio-indicators

4.1. Introduction

The pollution immission in a certain area affects both material and organisms. While measuring equipment registers selectively certain components of pollutants contained in the air, organisms respond as a rule to the entire immission complex. NYLANDER (5) noticed already in 1866 that lichens, which are in the category of lower plants, respond to the influence of urban pollution by withering and can therefore be used as indicators to asses the air quality.

The following general reasons are given for their sensitivity to air pollutants:

Unlike higher plants lichens have neither stomas nor protective cuticula. They have therefore no possibility to control their gas exchange; pollutants enter the lichen body without impediment and are accumulated there to of lethal concentrations. There is no secretion system (such as falling leaves) so that the pollutants cannot be shed. The lichen's main metabolism activity – contrary to higher plants – takes place in winter. This is the time of increased pollution immission. Moreover, lichens can hardly compensate any damage since they have only a very limited regeneration ability. In order to assess the air hygienical conditions in an area it appears advisable to draw a map of natural lichen growth. While this method permits to obtain information on the long-term average pollution immission in the surveyed area, explanted lichens make it possible also to obtain information on short-term immission (9).

4.2. Map plotting of natural lichen occurences

4.2.1. Method (10)

At 150 survey stations which were spread as regularly as possible across the surveyed area the bark of 10 apple trees – the most frequent freestanding tree in the area – was examined for lichen growth. This limitation to one type of trees was to ensure that all essential factors for lichen growth – except the immission effect – would be kept as constant as possible. According to statements by LE BLANC and DE SLOOVER (4) it was possible to calculate from the lichen growth at each station an air purity index (IAP) = Σ (Q. f.) (amended) which permits to obtain information on the average longterm immission situation.

"Q" the toxic tolerance factor, is an invariable value for every lichen species and it shows how many other

len weiteren Arten sie im Untersuchungsgebiet im Durchschnitt zusammen vorkommt. Ein niedriger Q-Wert (im Mittel wenige Begleitarten) besagt, daß diese Flechte auch dort noch zu existieren vermag, wo empfindlichere schon abgestorben sind, daß sie resistenter gegenüber Luftschadstoffen ist als solche, die nur dort gedeihen, wo auch viele andere Arten noch ein Fortkommen finden.

„f" stellt einen Kombinationswert aus Frequenz, Dekkungsgrad und Vitalität dar. Es ist eine variable Größe und kann sich für jede Flechtenart von Station zu Station bei veränderten Lebensbedingungen ändern. Ein hoher f-Wert (hohe Frequenz, gute Vitalität, starke Flächenbedeckung) zeugt von günstigen Existenzmöglichkeiten für die Flechte; geringe f-Werte besagen das Gegenteil.

4.2.2. Ergebnisse

Faßt man die Flechtenindizes ähnlicher Größe zusammen, so ergibt sich eine Zonierung, wie sie in Karte 17 dargestellt ist. Es zeigt sich eine deutliche Beziehung zum Hauptemittenten – Frankfurt – und zur vorherrschenden Windrichtung: Mit wachsender Entfernung zur Stadt verbessern sich die Lebensbedingungen für die Flechten allmählich; im Lee (NE) des Ballungsgebietes jedoch später als in den übrigen Himmelsrichtungen. Auch der Einfluß kleinerer Emittenten (Rüsselsheim, Hanau) macht sich durch den Rückgang der Flechtenvegetation in der Umgebung bemerkbar. (Auf die Explantate wird in Abschnitt 4.3. eingegangen).

lichen species exist on an average in the same survey area. A low Q-value (on an average few other lichen species) indicates that this type of lichen is able to survive in an area where more sensitive species have already withered, that it is more resistant to air pollutants than those which can survive only in areas where many other lichen species can also still survive.

"f" is a value combined of frequency, covering degree and vitality. It is a variable value and can change for each lichen species under different living conditions at every station. A high f-value (high frequency, good vitality, high covering degree) indicates favourable conditions of survival for the lichens; low f-values are an indication of the contrary.

4.2.2. Results

A summary of the lichen indices of similar value results in zones as shown on map 17. There is a clear relation to the main pollution source – Frankfurt – and to the prevailing wind direction: as the distance from the city grows the living conditions for lichens improve gradually; however, on the leeside (NE) of the densily populated area they improve later than in the other directions. The influence of smaller emittors (Rüsselsheim, Hanau) becomes also apparent by a decrease of the lichen vegetation in the neigbourhood. (Explantations are dealt with in part 4.3.)

An Apfelbaum gefundene Flechten, geordnet nach ihrer Toxitoleranz **Tab. 1:**

Lichens found on apple trees, classified in terms of their toxic tolerance **Table 1:**

Flechtenart Type of lichen	Q-Wert Q-value	Vorkommen in Stationen Number of stations where they were found	
Lecanora varia	5,7	139	Toxitoleranz hoch Toxic tolerance high
Buellia punctata	6,4	124	
Physcia tenella/ascendens	6,5	122	
Parmelia sulcata	6,9	114	
Hypogymnia physodes	7,0	104	
Physcia grisea	7,4	5	
Lepraria spec.	7,9	72	
Candelariella xanthostigma	7,9	75	
Physcia orbicularis	8,0	22	
Lecanora subfusca	8,2	67	
Parmelia exasperatula/fuliginosa	9,0	51	
Parmelia acetabulum	9,8	4	
Evernia prunastri	9,8	23	
Xanthoria parietina	9,9	8	
Pertusaria amara	10,0	1	
Cladonia spec.	11,0	13	
Platismatia glauca	11,0	3	
Parmelia scortea	11,0	1	
Parmelia dubia	11,0	1	
Parmelia saxatilis	11,3	9	
Cetraria chlorophylla	12,0	2	Toxitoleranz gering toxic tolerance low
Hypogymnia tubulosa	12,0	1	
Physcia aipolia	13,0	1	
Ramalina pollinaria	13,0	1	

In den untersuchten 150 Stationen wurden 27 Flechtenarten gefunden, die sich nach ihrer Toxitoleranz gliedern lassen (Tab. 1).

Ein Vergleich der vorliegenden Bestandsaufnahme mit Herbarmaterial des gleichen Untersuchungsraumes – gesammelt vor 100 Jahren – zeigt einen beträchtlichen Rückgang der epiphytischen Flechten: Den 27 Arten von heute stehen ca. 180 gegenüber, die damals auf Laubbäumen siedelten.

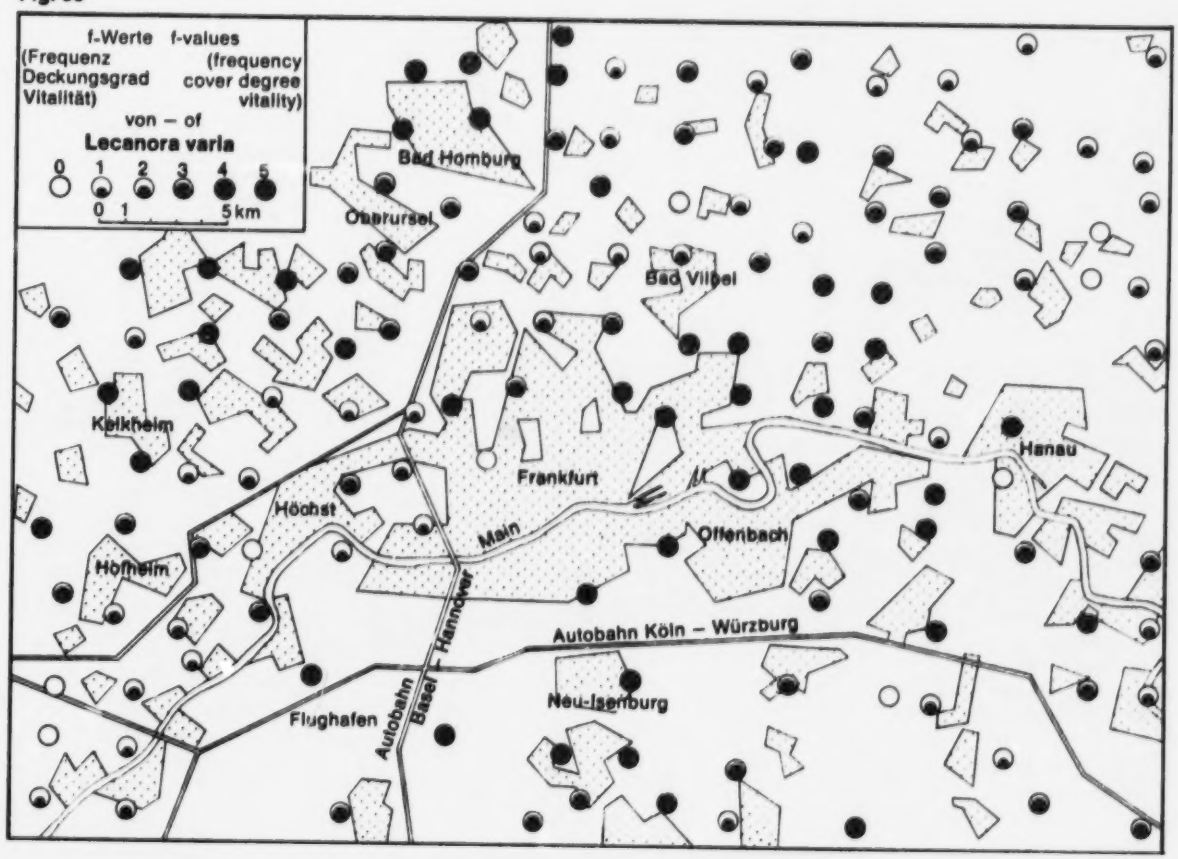
Während in Karte 17 die Immissionsbelastung mit Hilfe aller vorkommenden epiphytischen Flechten dargestellt wurde, wird im folgenden gezeigt, daß auch die Beschränkung auf eine oder wenige Flechtenarten zu ähnlichen Ergebnissen führen kann. Als Beispiel seien 4 Arten angeführt, die sich in ihrer Toxitoleranz deutlich voneinander unterscheiden. Am wenigsten geschädigt zeigt sich Lecanora varia, eine Krustenflechte, die noch heute überall häufig zu finden ist (Abb. 36). Eine negative Beeinflussung durch den Hauptemittenten Frankfurt ist nicht festzustellen – die f-Werte (Frequenz, Deckungsgrad, Vitalität) weisen eher auf eine gewisse Poleophilie dieser Art hin. Betrachtet man dagegen Physcia tenella/ascendens (Abb. 37), so fällt der starke Rückgang in Stadtnähe auf. Noch deutlicher tritt dieser Trend bei Hypogymnia physodes (Abb. 38) hervor. Diese Flechte ist zwar noch relativ häufig zu finden, doch erreicht sie ihre optimale

27 lichen species which can be classified according to their toxic tolerance (Table 1) have been found in the 150 survey stations.

A comparison of the existing data with the herbary material of the same surveyed area – collected 100 years ago – shows a considerable decline of epiphytic lichens: at that period 180 lichen species covered the trees (deciduous trees) compared with 27 species today.

While map 17 shows the pollution immission with the aid of all existing epiphytic lichens, the following example proves that similar results can be obtained if the survey is limited to one or a few lichen species. 4 species whose toxic tolerance clearly varies are used for this example. The least damaged is lecanora varia, a crustose lichen which can still be found frequently everywhere (fig. 36). No negative influence by the main emittor Frankfurt has been found, on the contrary, the f-values (frequency, covering degree, vitality) rather seem to indicate a certain poleophilie of this species. However, the survey of physcia tenella/ascendens shows a substantial decrease near the city (fig. 37). This trend is even more clear in the case of hypogymnia physodes (fig. 38). Although this lichen can still be found relatively often, its optimum development is only reached on the periphery of the survey area. Evernia prunastri (fig. 39) is clearly dying out in the Untermain

Abb. 36
Fig. 36



34 50
34 60
34 70
34 80

Karte 17
Map 17

Flechtenzonierung

Zoning of lichens

Flechtenindices (IAP)
Lichen indices

0	geringster Flächenbewuchs slightest lichen growth
1–50	
51–100	
101–200	
> 200	normaler Flächenbewuchs normal lichen growth

Meßzeitraum 1968–1973
Measuring period 1968–1973

Grenze des Untersuchungsgebietes
Border of the investigation area

Landesgrenze
State border

Kreisgrenze
District border

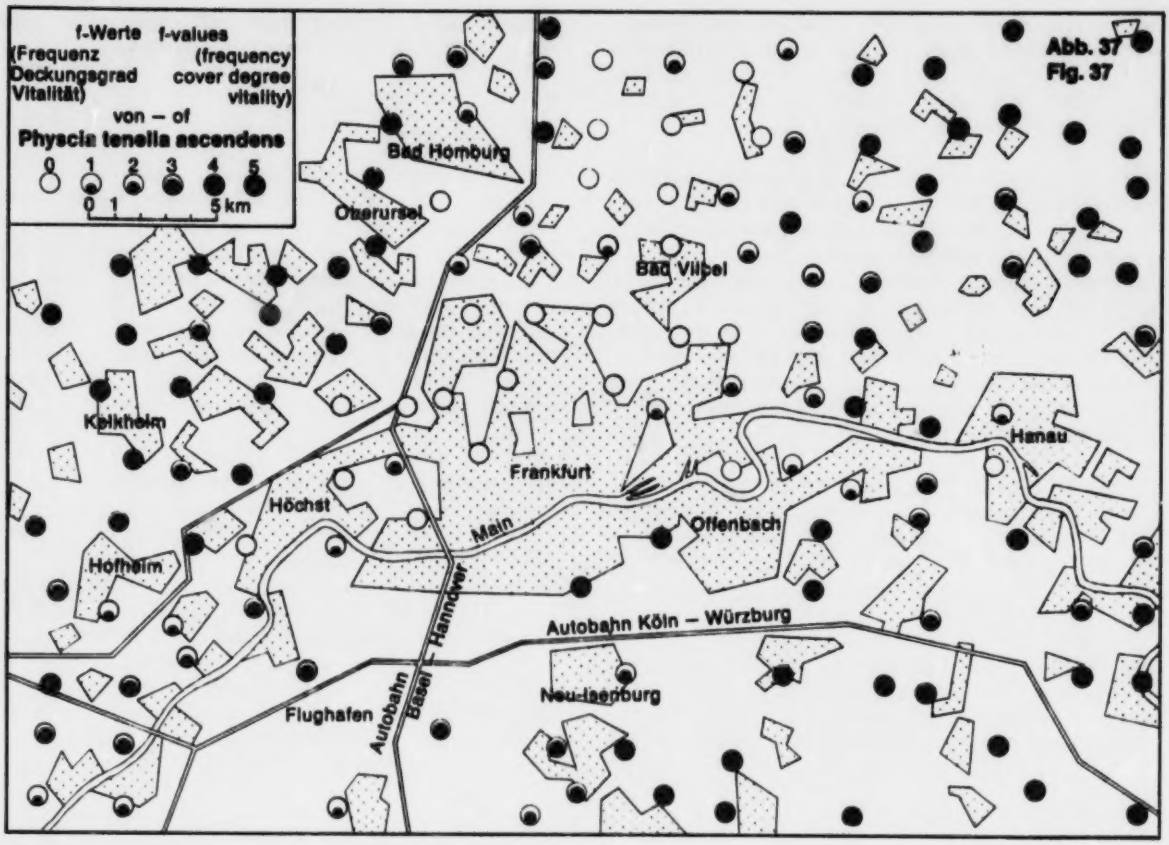
Gemeindegrenze
Community border

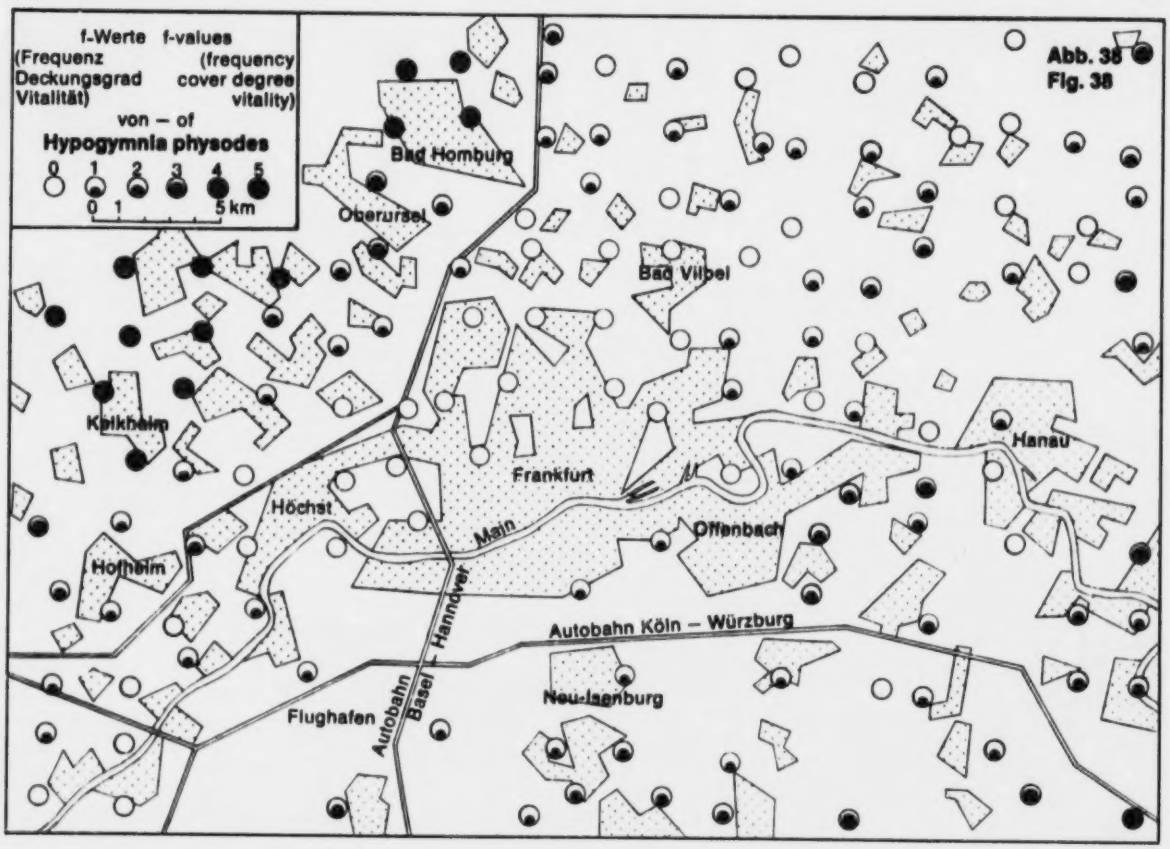
Ortsteilgrenze
Quarter border

4 km² / 1

Maßstab, Scale 1 : 200 000

0 2 4 6 8 10 12 km





Preceding page blank

Entwicklung nur noch an der Peripherie des Untersuchungsraumes. Evernia prunastri (Abb. 39) schließlich ist heute in der Region Untermain eindeutig im Aussterben begriffen, obwohl sie vor 100 Jahren noch als eine der gemeinsten Flechten des Raumes galt.

Die genannten Befunde erlauben folgende Interpretation: Lecanora varia erweist sich infolge zu großer Toxitoleranz als Bioindikator für das Untersuchungsgebiet als wenig geeignet; Evernia prunastri ist zwar ein ausgezeichneter Indikator, kommt aber bereits so selten vor, daß sie für Aussagen in Stadtnähe ausfällt. Am besten geeignet erscheinen daher die Arten mit einer mittleren Empfindlichkeit gegenüber Luftschadstoffen, wie z. B. Hypogymnia physodes. Dies ist ein Grund dafür, daß sie als Flechte für die Explantatmethode ausgewählt wurde (s. u.).

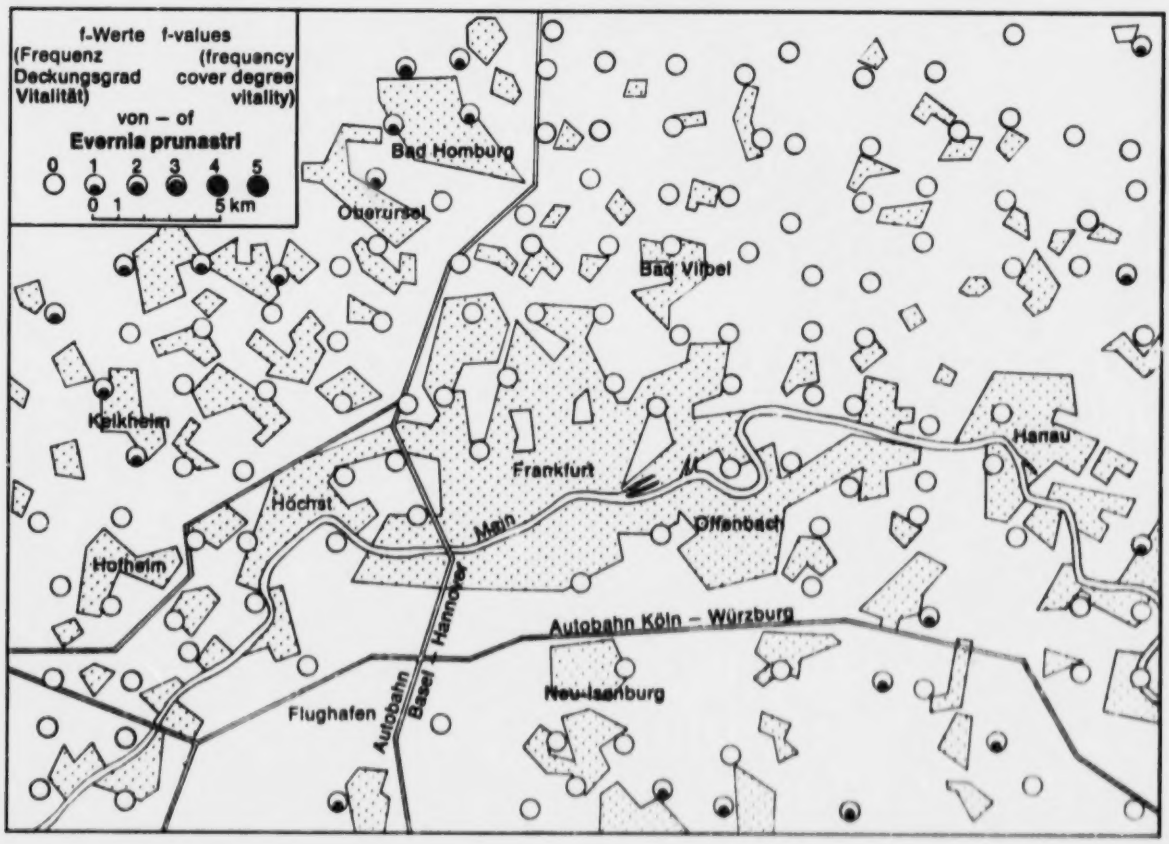
Es wurde auch der Versuch unternommen, Korrelationen zwischen Flechtenschädigung und Schadgaskonzentrationen aufzuzeigen. Gewisse Schwierigkeiten ergaben sich dabei durch die Tatsache, daß die Gasmessungen erst seit kurzer Zeit durchgeführt werden, also nicht den langjährigen Mittelwert wiedergeben. Zum anderen liegen die Meßstellen z. T. so weit von der nächsten Flechtenstation entfernt, daß ein Vergleich nicht mehr sinnvoll erscheint. Abgesehen von diesen Einschränkungen ließen sich dennoch Beziehungen zwischen Schadgaskonzentration und den Le-

region today, although it was still one of the most common lichen in this area 100 years ago.

These findings permit the following interpretation: Lecanora varia is not very suitable as a bio-indicator for the survey area because its toxic tolerance is too high; evernia prunastri, although an excellent indicator, is already so scarce that it can no longer be used as an indicator close to the city. The most suitable species therefore seem to be those with a medium sensitivity to air pollutants, such as hypogymnia physodes. This was one of the reasons why it was chosen as a lichen for the explantation method (see below).

It has also been attempted to prove correlations between damage to lichens and pollution gas concentrations. Certain difficulties were caused by the fact that gas pollution has not yet been measured for a long time and that measurements do therefore not indicate a long-term average value. On the other hand, some measuring stations are located so far away from the nearest lichen station that a comparison appears no longer useful. Apart from these limitations it was possible to show relations between pollution gas concentrations and the conditions for lichen survival. The

Abb. 39
Fig. 39



bensmöglichkeiten für Flechten aufzeigen. Am deutlichsten kommt diese Abhängigkeit für SO_2 – dem verbreitesten Gas – zum Ausdruck. Erste Korrelationen ergeben sich zwischen den Flechtenzonen und vorhandener SO_2-Belastung (Tab. 2).

Tabelle 2: Abhängigkeit der Flechtenzonierung von SO_2-Mittelwerten

Flechtenzone	SO_2-Mittelwert *
IAP: 0	0,095 mg/m³ (14 Meßstellen)
IAP: 1 – 45	0,084 mg/m³ (13 Meßstellen)
IAP: 46 – 100	0,079 mg/m³ (10 Meßstellen)
IAP: 101 – 200	0,064 mg/m³ (5 Meßstellen)
IAP: > 200	keine Vergleichswerte

* SO_2-Werte vom Institut für Wasser-, Boden- und Luftgygiene, Berlin-Dahlem (7).

Aus der Tabelle läßt sich folgern:

1. Die meisten epiphytischen Flechten vermögen bei SO_2-Mittelwerten über 0,10 mg/m³ nicht mehr zu existieren.

2. Mit abnehmender SO_2-Konzentration erhöhen sich sowohl die Artenzahl als auch Frequenz, Dekkungsgrad und Vitalität (= IAP-Wert) der Flechten.

Es ergibt sich aber nicht nur eine Beziehung zwischen SO_2-Mittelwerten und den Flechtenzonen, die ja durch Einbeziehung aller im Gebiet vorkommenden Flechten erstellt worden sind.

Der Schädigungsgrad **einzelner** Flechtenarten läßt sich ebenfalls bestimmten SO_2-Konzentrationen zuordnen (Tab. 3).

clearest case is the dependence on SO_2 – the most frequent gas. The first correlations have been found between the lichen zones and existing SO_2-pollution (table 2).

Table 2: Dependence of lichen zones on average SO_2-values

Lichen zone	Average SO_2-value *
IAP: 0	0,095 mg/m³ (14 measuring stations)
IAP: 1 – 45	0,084 mg/m³ (13 measuring stations)
IAP: 46 – 100	0,079 mg/m³ (10 measuring stations)
IAP: 101 – 200	0,064 mg/m³ (5 measuring stations)
IAP: > 200	no comperative values

* SO_2-values given by the Institute for Water-, Soil- and Air-Hygiene, Berlin-Dahlem (7).

From this table it can be concluded:

1. Most epiphytic lichens can no longer survive when the average SO_2-values exceed 0.10 mg/m³.

2. When the SO_2-concentration decreases there is an increase in both the number of lichen species and their frequency, covering degree and vitality (IAP value).

However, there is not only a relation between the average SO_2-values and the lichen zones which have been obtained by including all lichen species in the area.

The degree of damage to **individual** lichen species can also be attributed to certain SO_2-concentrations (table 3).

SO_2-Empfindlichkeit verschiedener Flechtenarten **Tab. 3:**

SO_2-sensitivity of various lichen species **Table 3:**

SO_2-Jahresmittelwert (mg/m³): / Average Annual SO_2-value (mg/m³):			0,050	0,060	0,070	0,080	0,090	0,100	0,110
f-Wert-Mittel setzt sich zusammen aus: / f-value consisting of:			1 Wert value	4 Werte values	4 Werte values	2 Werte values	3 Werte values	3 Werte values	1 Wert value
Lecanora varia	Q = 6	f =	4	4	3	3	2	2	–
Buellia punctata	Q = 6		3	2	3	1	1	+	–
Physcia ten./ascendens	Q = 7		2	4	3	2	3	1	–
Parmelia sulcata	Q = 7		3	2	2	1	1	+	–
Hypogym. physodes	Q = 7		4	3	2	1	1	+	–
Candel. xanthostigma	Q = 8		2	1	2	–	–	–	–
Lepraria spec.	Q = 8		4	1	1	1	+	–	–
Lecanora subfusca	Q = 8		1	1	2	–	–	–	–
Parm. exasp./fulinginosa	Q = 9		1	1	1	–	–	–	–
Evernia prunastri	Q = 10		1	+	–	–	–	–	–
IAP-Mittel: / IAP average:			156	106	99	31	36	34	0

Es zeigt sich, daß die Arten bei gleichem SO_2-Wert recht unterschiedlich geschädigt werden (hoher f-Wert = optimales Fortkommen; kleiner f-Wert = kümmerliche Existenz). Ordnet man die Arten nach ihrer Toleranz gegenüber SO_2, so entspricht diese Reihe überraschend genau der nach LE BLANC und DE SLOOVER aufgestellten allgemeinen Toxitoleranz-

It is apparent that the various species are being damaged to a varying degree under the same SO_2-concentration (high f-value = optimum progress; low f-value: poor survival). If the species are classified according to their tolerance vis-à-vis SO_2 this series is in accordance with the general tolerance series established by LE BLANC and DE SLOOVER (see Q-values,

reihe (siehe Q-Werte, Tab. 3). Das läßt den Schluß zu, daß für die meisten Flechten, die in der Region Untermain noch vorkommen, die SO_2-Konzentration der limitierende Faktor ist.

Aus Tab. 3 ergibt sich folgende Aussage: Das Auftreten bestimmter Flechtenarten zeigt an, daß ein gewisser Grenzwert der SO_2-Belastung am Fundort nicht überschritten wird. Ist z. B. Hypogymnia physodes anzutreffen, so wird der SO_2-Pegel im Durchschnitt nicht über 0,100 mg/m³ liegen (Tab. 4).

Tabelle 4: SO_2-Toleranz verschiedener Flechtenarten

Erstes Auftreten von:	SO_2-Mittelwert
Lecanora varia	< 0,150 mg/m³
Buellia punctata	< 0,120 mg/m³
Physcia tenella/ascendens	< 0,100 mg/m³
Parmelia sulcata	< 0,100 mg/m³
Hypogymnia physodes	< 0,100 mg/m³
Candelariella xanthostigma	< 0,070 mg/m³
Lecanora subfusca	< 0,070 mg/m³
Parmelia exasperatula	< 0,070 mg/m³
Evernia prunastri	< 0,060 mg/m³

Eine ganz ähnliche Abfolge der SO_2-Empfindlichkeit der gleichen Flechtenarten fanden HAWKSWORTH und ROSE (1), die in Großbritannien eine Flechtenkartierung in Beziehung zur SO_2-Belastung setzten. Ob diese Reihung allerdings auch unter stark veränderten klimatischen Bedingungen bzw. für andere Substrate (Baumborken) gilt, ist bisher nicht untersucht.

4.3. Flechtenexplantate

Flechtenexplantate sind ausgestanzte, mit Flechten bewachsene Rindenstücke, die in Holzplatten eingeklebt und an die zu bewertenden Standorte gebracht werden (2) (8). Wir benutzen Hypogymnia physodes als Iidikatorart.

Die Bewertung der Explantatschädigung wurde durch Bonitierung der Absterberate und zusätzlich durch Chlorophyllbestimmungen (3) ermittelt und nach folgender 3stufiger Skala dargestellt:

I = keine Schädigung
II = geringe Schädigung
III = starke Schädigung

In Karte 18 sind durch rote Punkte diejenigen Exponierungsorte gekennzeichnet, die die höchsten Werte der Schädigungsbonitierung aufwiesen. Diese Zone gleicher Vitalitätsminderung der Explantate erstreckt sich über das Zentrum des Frankfurter Stadtgebietes und weiter im Westen bis nach Höchst und im Osten bis Hanau.

Die Ausdehnung der Zone des besonders kümmerlichen natürlichen Flechtenbewuchses im Nordwesten läßt sich anhand der Explantate nicht feststellen. Allerdings muß eingeräumt werden, daß in diesem Gebiet nur vergleichsweise wenig Flechtenexponierungsorte vorhanden sind.

table 3). This permits the conclusion that for most lichens which still exist in the Untermain region the SO_2-concentration is the limiting factor.

The following information results from table 3: The existence of certain lichen species indicates that a certain SO_2-concentration limit has not been exceeded at the location where the lichen is found. If hypogymnia physodes is found, for instance, the SO_2-concentration will, on an average, not exceed 0.100 mg/m³ (table 4).

Table 4: SO_2-tolerance of various lichen species

First appearance of:	Average SO_2-value
Lecanora varia	< 0.150 mg/m³
Buellia punctata	< 0.120 mg/m³
Physcia tenella/ascendens	< 0.120 mg/m³
Parmelia sulcata	< 0.100 mg/m³
Hypogymnia physodes	< 0.100 mg/m³
Candelariella xanthostigma	< 0.100 mg/m³
Lecanora subfusca	< 0.070 mg/m³
Parmelia exasperatula	< 0.070 mg/m³
Evernia prunastri	< 0.060 mg/m³

A very similar SO_2-sensitivity of the same lichen species was found by HAWKSWORTH and ROSE (1), who made a lichen survey in relation to SO_2-concentration in Great Britain. However, it has not yet been examined whether this classification applies also to considerably different climatic conditions or to other substrata (bark of trees).

4.3. Lichen Explants

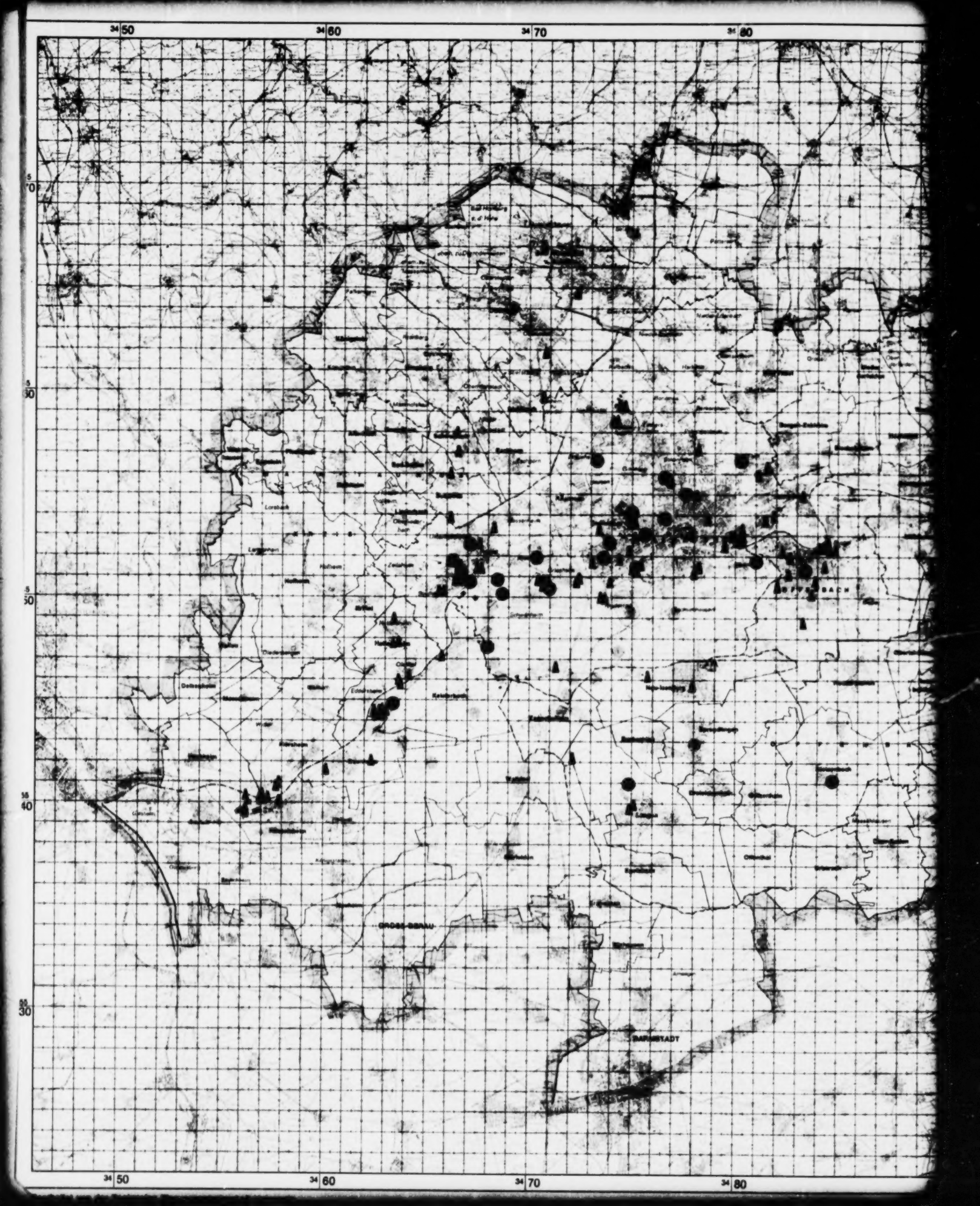
Lichen explants are punched pieces of bark grown over with lichens which have been glued on wooden plates and been brought to the survey location (2) (8). We used hypogymnia physodes as an indicator.

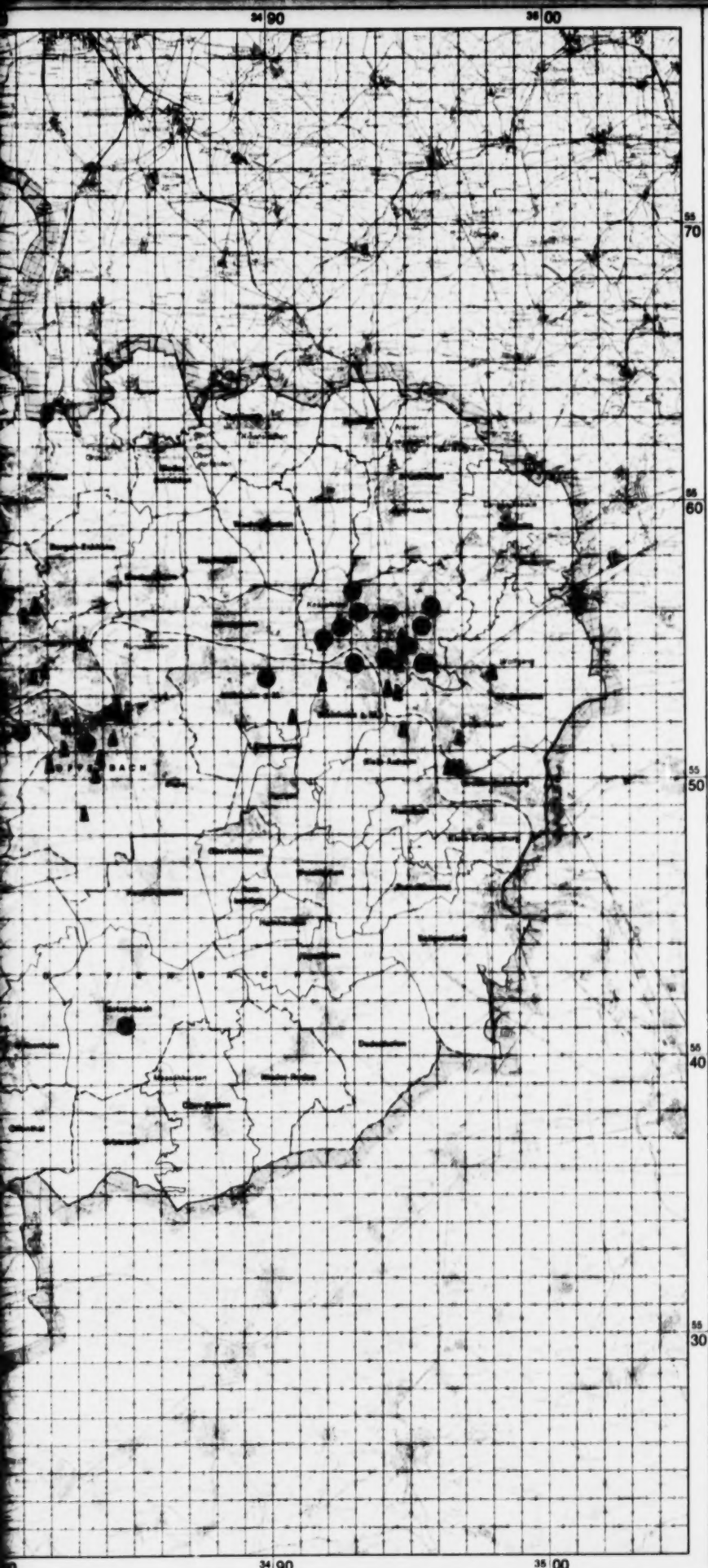
The degree of damage to the explants was found by classifying the withering rate and, in addition to this, by chlorophyll determination (3); the result was shown in the following three-stage scale:

I = no damage
II = little damage
III = serious damage.

On map 18 red points indicate the locations where the most serious damage occured. This zone where the explants suffered equally from reduced vitality extends over the center of Frankfurt and further to the West as far as Hoechst and in the East as far as Hanau.

The size of the north-western zone where the natural lichen growth is particularly poor cannot be determined on the basis of the explants. It has to be admitted, however, that in this area there are relatively few lichen exposure places.


3450
3460
3470
3480
5370
5330
5350
5340
5330
GROSS-GERAU
DARMSTADT



Schädigungsbonitierung von Flechtenexplantaten im Zusammenhang mit Groß-Emittenten der Industrie (Auswurf über 10 kg/h)
Classification of damages of lichen explants in combination with large emittents of the industry (output more than 10 kg/h)

Schädigungsbonitierung
Classification of damages

gesund bzw. kaum geschädigt
Healthy respectively hardly damaged

wenig geschädigt
Slightly damaged

geschädigt
Damaged

Emittenten mit einem SO_2-Auswurf von 10 kg/h und mehr
Emittent with a SO_2-output of 10 kg/h and more

Meßzeitraum 1968–1973
Measuring period 1968–1973

Grenze des Untersuchungsgebietes
Border of the investigation area

Landesgrenze
State border

Kreisgrenze
District border

Gemeindegrenze
Community border

Ortsteilgrenze
Quarter border

4 km²
1

Maßstab, Scale 1 : 200 000

0 2 4 6 8 10 12 km

Wie aus Karte 18 weiterhin ersichtlich ist, sind Flechten in der Nähe von Großemittenten besonders stark geschädigt, es sei denn, daß durch sehr hohe Schornsteine die Schadstoffe in unmittelbarer Nähe nicht zur Wirkung kommen. Ein Beispiel hierfür bietet der Emittent bei Großkrotzenburg, SE von Hanau.

Vergleicht man die mittels der IAP-Methode erhaltenen Werte mit der Schädigung der Explantate, so ergibt sich eine noch signifikante Korrelation ($r = 0{,}66$). Die sichtbare Schädigung ist dabei wohl auf den Abbau des Chlorophylls des Phycobionten zurückzuführen (6), denn die Beziehung zwischen Schädigungsbonitierung und Chlorophyllgehalt ist mit $r = 0{,}98$ fast funktional.

Während die Kartierung des natürlichen Flechtenvorkommens (siehe 4.2.) den Zustand erfaßt, der sich während eines längeren Zeitraumes eingestellt hat (komplexes Ökosystem der Rindenflechtengesellschaft), lassen die Explantate Aussagen über einen kürzeren definierten Zeitraum zu. Dies ist wohl auch mit der Grund für die stellenweise auftretenden Abweichungen der Ergebnisse der beiden Methoden. So können z. B. lokal eng begrenzte Emissionsquellen, die zudem nur kurzfristig tätig sind (z. B. Verbrennung von Hausmüll), auf die Flechtenexplantate einen Einfluß ausüben, während sich für die natürliche Flechtenzonierung kaum Veränderungen nachweisen lassen.

4.4. Zusammenfassung

Die vorliegenden Untersuchungen haben gezeigt, daß man anhand der Flechtenschädigung Zonen unterschiedlicher Immissionsbelastung ausweisen kann. Geht man zur Beurteilung einzelner Flechtenarten über, so lassen sich daraus gewisse Schlüsse über die Schadgaskonzentration ziehen. Damit ergibt sich die Möglichkeit, der Regionalplanung Anhaltspunkte dafür zu liefern, wo detaillierte physikalisch-chemische Messungen sinnvoll erscheinen, d. h. Orte, die mit Hilfe der Bioindikatoren als Zentren oder auch als Grenzbereiche von Immissionsbelastungen erkannt worden sind.

As can also be seen from map 18, lichens in the neighbourhood of major emittors have been especially seriously damaged, except where, due to very high chimneys, the pollutants are not effective in the immediate vicinity. One example is the emittor at Groß-Krotzenburg, SE of Hanau.

When comparing the data derived from the IAP method with the damage caused to the explants there results a significant correlation ($r = 0.66$). The visible damage is probably due to the decomposition of chlorophyll of the phycobiont (6) since the relation of $r = 0.98$ between the degree of the damage and the chlorophyll contents is almost functional.

While the mapping of the natural lichen growth (see 4.2.) indicates the situation prevailing over an extended period (complex ecological system of the bark lichen species) the explants provide information on short-term conditions. This is probably also the reason for some of the deviations in the results of the two methods. Thus closely limited local emission sources which are active only during a short period (for instance the burning of domestic garbage) can have an influence on lichen explantats while there is hardly any proof of changes to the natural lichen growth.

4.4. Summary

The survey described above has indicated that damage to lichens is a mean to determine zones of varying pollution immission. When individual lichen species are examined, certain conclusions in regard of the pollution gas concentration can be drawn. This can provide regional planning with clues to determine where detailed physical-chemical measurements would appear useful, i. e. locations which have been identified as centers or confines of pollution immissions with the aid of the biological indicators.

4.5. Literatur/Literature:

(1) HAWKSWORTH, D. L. und F. ROSE: „Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens." Nature 227 (11), 145–148, (1970).

(2) KIRSCHBAUM, U., R. KLEE und L. STEUBING: „Flechten als Indikatoren für die Immissionsbelastung im Stadtgebiet von Frankfurt/M." Staub-Reinhaltung der Luft 31, 21–24 (1971).

(3) KLEE, R.: „Die Wirkung von gas- und staubförmigen Immissionen auf Respiration und Inhaltsstoffe bei Parmelia physodes." Angewandte Botanik XLIV, 253–261 (1970).

(4) LE BLANC, F. und J. DE SLOOVER: „Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal." Canadian J. of Botany 48, 1485–1496 (1970).

(5) NYLANDER, W.: „Les Lichens des Jardins de Luxembourg." Bull. Soc. Bot. de France 13 (1866).

(6) RAO, D. N. und F. LE BLANC: „Effects of sulphur dioxide on the lichen algae, with special reference to chlorophyll. Bryologist 69 (1966).

(7) REGIONALE PLANUNGSGEMEINSCHAFT UNTERMAIN: 4. Arbeitsbericht (1972).

(8) SCHÖNBECK, H.: „Eine Methode zur Erfassung der biologischen Wirkung von Luftverunreinigungen durch transplantierte Flechten." Staub-Reinhaltung der Luft 29, 14–18 (1969).

(9) STEUBING, L.: „Immissionskataster als Bestandteil des Landschaftskatasters". Natur und Landschaft 48 Nr. 2, 39–43 (1973).

(10) KIRSCHBAUM, U.: Flechtenkartierungen in der Region Untermain zur Erfassung von Immissionsbelastungen. Tag. Bericht d. Ges. f. Ökologie, Gießen (1972).

Preceding page blank

H. Bartels, J. W. Caspar, H. Scharrer

5. Meteorologische Messungen

5.1. Einführung

Jeder Eingriff in die Struktur einer Landschaft hat eine Änderung der klimatischen Verhältnisse zur Folge. Die Änderung kann das Mikroklima betreffen, also die bodennahe Luftschicht im Höhenbereich bis 2 m über Grund, das Meso- oder Lokalklima oder auch das großräumige, das Makroklima. Art und Stärke der klimatischen Auswirkungen hängen von der Größe und Art der Landschaftsveränderung, aber auch von den örtlichen Gegebenheiten ab.

Die anthropogen bedingten Klimaänderungen müssen nicht unbedingt von nachteiliger Wirkung auf das Leben der Menschen und seine Umwelt sein. Sie können durchaus auch eine Verbesserung bringen. In welchem Umfang dies möglich ist, hängt von den lokalen Verhältnissen und von der Art der Landschaftsumgestaltung ab. Die Planung und ihre Verwirklichung bestimmen die Klimaveränderung. Bei jeder Umgestaltung und Neuerschließung einer Region oder Stadt sollte deshalb als oberstes Gebot gelten: Die umweltfreundlichen Komponenten des Klimas voll einzuplanen, sich nutzbar zu machen und durch geeignete Maßnahmen die schädlichen Klimaeinflüsse zu mindern oder ganz auszuschalten.

Um dieses Ziel zu erreichen, müssen erstens die örtlichen, vor der Umgestaltung herrschenden Klimaverhältnisse bekannt und zweitens die nach der Umgestaltung zu erwartenden Klimate voraussehbar sein. Die physikalischen Zusammenhänge zwischen einer Landschaft, ihrer Orographie, Bebauung und Bepflanzung einerseits und dem Klima andererseits sind zu erforschen und die Ergebnisse dieser Untersuchungen in Leitsätzen und Richtlinien zu manifestieren. Hierdurch werden Unterlagen geschaffen, die den Städtebauern und Raumplanern eine umweltfreundliche Planung in klimatologischer Sicht ermöglichen.

Die lufthygienisch-meteorologische Untersuchung in der Region Untermain stellt einen Modellfall dar, der den Zweck hat, derartige Unterlagen zu erarbeiten. Die Ergebnisse sollen von allgemeingültiger Bedeutung und auf ähnlich gelagerte Fälle übertragbar sein. Darüberhinaus dienen die Ergebnisse selbstverständlich dem unmittelbaren Nutzen bei Planungen in der Region Untermain selbst.

Das Untermaingebiet ist für eine solche Untersuchung besonders geeignet. Die Unterschiede in der Oberflächengestalt – der Höhenunterschied beträgt maximal fast 500 m –, die stark differenzierte Bebauung, der Wechsel zwischen großen Wald- und Freilandgebieten sowie das Vorhandensein eines größeren Gewässers lassen merkbare Klimaunterschiede innerhalb dieser Region erwarten. Diese Unterschiede werden begünstigt durch ein häufiges Auftreten von windschwachen Situationen, die der Bildung eigenbürtiger Lokalklimate besonders günstig sind. In einer Reihe von klimatologischen Lokalstudien – die ersten wurden bereits in den 20er Jahren angestellt – wurden wiederholt Hinweise auf das Vorhandensein von Lo-

5. Meteorological Measurements

5.1. Introduction

Every interference in the topographical structure of a region causes a change of climatic conditions. The change can affect the micro-climate, i. e. the air stratum close to the ground up to a height of 2 m, the meso- or local-climate and the climate in wide areas, the macro-climate. The nature and importance of climatic consequences depend on the scope and nature of topographical changes, but also on local conditions.

Climatic changes due to anthropogenic factors must not necessarily have negative consequences for the life of man and his ennvironment. They may just as well bring improvements. The extent to which this will be possible depends on local conditions and the nature of the topographical transformations. The plans drafted and the realization of these plans determine climatic changes. The supreme commandment for every transformation or development of a region should therefore be: the positive environmental components have to be fully included in the planning and have to be exploited, and the negative climatic influences have to be reduced or eliminated by adequate measures.

In order to achieve this objective it is necessary first to know the climatic conditions before the transformation and, secondly, to anticipate the climatic changes which have to be expected after the transformation. The physical connections between the topography of a region, its orography, its covering with buildings and plantations on the one hand and the climate on the other hand have to be studied and the results of this survey have to be laid down in guiding principles and directives. Thus, a documentation is provided which enables town-planners and regional planners to carry out positive environmental planning from a climatological point of view.

The air-hygienic-meteorological survey in the Untermain region is a model case whose purpose is the preparation of such documentation. The results should be of common interest and applicable to similar cases. Moreover, it goes without saying that the results have a direct benefical impact on planning in the Untermain region itself.

The Untermain region is especially suitable for such a survey. Due to the topographic differences – the maximum difference in altitude is almost 500 m – the very differenciated covering with buildings, the alternation between large forests and open fields as well as the existence of a major waterway, noticeable climatic differences can be expected in this region. These differences are favourably influenced by frequent calm weather conditions which are of particular importance for the formation of a typical local climate. In a series of local climatological studies – the first took place already in the 1920ies – there were repeated indications of the existence of local circulations in the Frankfurt area. These locally bound air currents have

kalzirkulationen im Frankfurter Raum gegeben. Diese ortsgebundenen Luftströmungen sind es vornehmlich, die planerisch genutzt werden müssen. Alle diese Faktoren kamen der von der Regionalen Planungsgemeinschaft Untermain (RPU) ausgegangenen Anregung entgegen, gerade in dieser Region eine Klimastudie durchzuführen, deren Ergebnisse künftige Planungen entscheidend beeinflussen sollen.

5.1.1. Ziel der Untersuchung

Die Untersuchung soll die in den verschiedenen Gebieten der Region auftretenden Lokalklimate erfassen. Es sind die örtlichen Luftzirkulationen festzustellen, ihre zeitliche und räumliche Verteilung sowie ihre horizontale und vertikale Erstreckung zu untersuchen und die Ursache ihrer Entstehung zu ergründen. Zur Lösung der letztgenannten Aufgabe sollen besonders die Bildung von Kaltluft und deren Fließverhalten untersucht sowie das Flurwindsystem zwischen Gebieten mit unterschiedlicher Bebauung bzw. Vegetation und das Berg- und Talwindsystem studiert werden. Es sind Unterlagen zu schaffen, die Aufschluß über vorhandene Strömungskonvergenzen und -divergenzen geben und über die Häufigkeit, mit der bestimmte Windrichtungen und -geschwindigkeiten in den einzelnen Gebieten der Region auftreten.

Soweit erforderlich, sind diese Strömungsdaten mit Angaben über die vertikale Temperaturverteilung, besonders über Inversionen, zu korrelieren. Nicht ohne Bedeutung ist dabei die Frage nach der Auswirkung einer Stadt oder der Oberflächengestalt der Region auf Höhe und Intensität von Inversionen.

Die Ergebnisse der Untersuchung sollen erkennen lassen, wo noch gebaut werden kann und wo sich eine weitere Bebauung verbietet. Sie sollen eine Voraussage der Ausbreitung von Luftbeimengungen ermöglichen und somit auf die Frage der Ansiedlung, des Ausbaues bzw. der Einschränkung von Emittenten eine Antwort geben.

Die Wohn-, Arbeits- und Lebensqualitäten eines Gebietes hängen sehr stark von den hygrothermischen Belastungen ab. Bekanntlich sind diese Belastungen im Rhein-Main-Gebiet besonders groß. Sie treten in dem Bereich der Region mit unterschiedlicher Häufigkeit auf. Auch diese Unterschiede aufzuzeigen, ist Aufgabe dieser Untersuchung.

5.2. Meßverfahren

Zur Durchführung der Untersuchung werden Messungen nach drei Verfahren durchgeführt:

1. Mit Hilfe eines Meßnetzes mit 48 temporären Meßstellen, 4 Klima-, 3 synoptischen und 25 Niederschlagsmeßstellen des Deutschen Wetterdienstes werden kontinuierliche Messungen der Lufttemperatur, -feuchte sowie der Windrichtung und -geschwindigkeit durchgeführt. An den Beobachtungsstellen des Deutschen Wetterdienstes werden außerdem weitere meteorologische Elemente wie

to be primarily used for planning. All these factors are meeting the proposal by the Regional Planning Association Untermain (RPU) that a climatic study should be carried out in this particular region, the results of which should influence future planning decisively.

5.1.1. Aim of the investigation

The study is to survey the local climate in the various areas of the region. The local air circulation has to be determined, its distribution in terms of time and space and its horizontal and vertical extension have to be examined and the reason of its formation has to be found. To fulfill the latter task it is required in particular to examine the formation of cold air and its flowing behaviour as well as the wind system between areas with varying density of buildings and/or vegetation as well as the mountain- and valley-wind-system. A documentation has to be prepared which shows existing air-current-convergences and -divergences together with the frequency of certain wind directions and wind velocities in the various areas of the region.

If necessary, these data should be correlated with information on the vertical distribution of temperature, expecially on inversions. In this connection the question of the impact of a city or topography of a region on the altitude and intensity of inversions is not without importance.

The results of the study should show where further building will be possible and where additional building should be avoided. They should make it possible to forecast the diffusion of air admixtures and thus give an answer to the question where further emittors should be admitted or where they should be limited.

The qualities of dwelling-, working- and living-conditions of an area depend to a major degree on hygrothermic pollution. This pollution is of special importance in the Rhein-Main region where it appears with alternating frequency. It is also the purpose of this study to provide information on these differences.

5.2. Measuring procedures

To prepare this study measurements under three procedures have been carried out:

1. In cooperation with a measuring network consisting of 48 temporary measuring stations, 4 climatic-, 3 synoptic- and 25 precipitation-measuring stations of the German Weather Service, continuous measurements of air temperature, humidity, wind direction and wind velocity have been carried out. Moreover, the observer stations of the German Weather Service also measure further meteo-

Luftdruck, Bewölkung, Sichtweiten, besondere Wettererscheinungen, Sonnenscheindauer u. a. gemessen.

2. Mit mobilen Einrichtungen, und zwar mit einem sogenannten Profilwagen und einem kleinaerologischen Meßzug werden bei bestimmten Wetterlagen Kurzzeitmessungen über einen bis mehrere Tage durchgeführt. Der Profilwagen dient der Erfassung der horizontalen Verteilung von Lufttemperatur, Feuchte und Wind längs eines festgelegten Geländeprofils bzw. zwischen Stadt und Freiland. Mit Hilfe des kleinaerologischen Meßzugs werden lokale Windsysteme und vertikale Temperaturverteilungen, insbesondere Inversionen untersucht.

3. Lokale Windzirkulationen sind häufig von horizontalen Temperaturunterschieden verursacht. Der horizontalen Temperaturverteilung kommt deshalb eine besondere Bedeutung zu. Mit Hilfe der Infrarot-Thermographie können in kurzer Zeit die Oberflächentemperaturen eines größeren Gebietes erfaßt werden. Dieses Verfahren wurde mit Erfolg angewandt. Beschreibung und Ergebnisse sind im 3. Arbeitsbericht der „Lufthygienisch-meteorologischen Modelluntersuchung in der Region Untermain" vom März 1972 enthalten.

5.2.1. Sondermeßnetz (Temporäres Meßnetz)

Bei der Auswahl der Meßstellen für die 48 Beobachtungsstationen lag der Gedanke zu Grunde, möglichst an Orten zu messen, an denen klimatische Besonderheiten zu erwarten sind. Besonderheiten hinsichtlich der vorgesehenen Meßelemente treten auf: in Tälern unterschiedlicher Form, an Hängen, auf Höhenrücken oder Gipfeln, in bebauten Gebieten, an Waldrändern, in Wäldern, Grünanlagen, an Gewässern und in verschiedenen Höhenlagen (s. Karte 14).

Das Netz, wie es nun seit Sommer 1971 betrieben wird, konnte nicht in allen Fällen diesen meteorologischen Forderungen entsprechen. Die Verhandlungen mit den Besitzern der ausgewählten Meßstellen waren schwierig und vor allem langwierig. Da die Einrichtung des Meßnetzes unter Zeitdruck stand, mußten oft Kompromisse geschlossen und auf weniger geeignete Plätze ausgewichen werden.

Nach Höhenlage und orographischer bzw. Umgebungssituation teilen sich die Stationen folgendermaßen auf (s. auch Anhang):

Höhe über NN in m	Zahl der Stationen
≤ 100	6
101 – 150	28
151 – 200	8
201 – 250	5
251 – 300	0
301 – 350	1
> 350	0

rological elements such as atmospheric pressure, clouding, visibility, special weather phenomena, duration of sunshine etc.

2. Special mobile equipment, installed on a so-called profile survey car and a mini-aerological measuring vehicle, are used to carry out short-time measurements under certain weather conditions during one or two days. The profile survey car is used to survey the horizontal distribution of air temperature, humidity and wind along a pre-established topographical profile or between city and open countryside. The mini-aerological measuring vehicle is used for the survey of local wind systems and vertical distributions of temperature, especially inversions.

3. Local wind circulations are often caused by horizontal differences of temperature. Therefore the horizontal distribution of temperature is a matter of special importance. Infrared thermography makes it possible to obtain information on the surface temperature of a major area within a short time. These procedures have been used successfully. Description and results are contained in the 3rd working report on the „Air-hygienical meteorological Model Survey in the Untermain Region" of March 1972.

5.2.1. Special measuring net (temporary measuring net)

The selection of the locations for the 48 measuring stations was based on the idea that measurements should be made in places where climatic particularities could be expected. In regard of planned measuring elements such particularities occur: in valleys of various shapes, on slopes, on mountain-ridges or mountain-tops, in built-up areas, at forest edges, in forests, parks, on waterways and at various altitudes (see map 14).

The network which has been in operation since the summer of 1971 did not meet these meteorological requirements in all cases. Negotiations with the owners of the land for the selected stations were difficult and took a long time. Since the measuring network had to be established under pressure of time, it was often necessary to make compromises and to put up with less suitable locations.

The stations have been distributed as follows according to altitude and the orographic or environmental situations (see also appendix):

Altitude above NN in m	Number of Stations
≤ 100	6
101 – 150	28
151 – 200	8
201 – 250	5
251 – 300	0
301 – 350	1
> 350	0

Ortslage nach Geländeform	Zahl der Stationen
Hanglagen	5
Tal- bzw. Muldenlagen	12
Gipfel- bzw. Höhenrückenlagen	7
Ebene Geländelagen	23
Main-Inselage	1

Die bis jetzt vorliegenden Ergebnisse des temporären Netzes lassen erkennen, daß für weitere Messungen einige Änderungen in der Stationsverteilung zweckmäßig sind. An einigen Stellen, besonders im ebenen Gelände, könnte das Netz stark gelichtet werden. Es fehlen hingegen Meßstellen in höheren Hanglagen des Taunus und in dicht bebauten Gebieten, wie im Stadtbereich von Frankfurt. Diesbezügliche Veränderungen, die mit einer Verminderung der Stationszahl zu verbinden sind, sollten baldmöglichst durchgeführt werden.

5.2.2. Meßgeräte

5.2.2.1. Sondermeßnetz (Temporäres Meßnetz)

Für die Messungen steht ein eingezäuntes Meßfeld von 4 x 4 m zur Verfügung. In der Mitte des Meßfeldes ist auf einem besteigbaren Stahlrohrmast der Windmesser aufgestellt, dessen Meßfühler sich 6 m über dem Boden befindet. Auf dem Meßfeld steht außerdem die sogenannte Englische Hütte zur Aufnahme des Thermographen und Hygrographen. Die Fühler dieser Geräte befinden sich 2 m über dem Boden.

Für die Windmessung wird ein mechanischer Windschreiber nach Wölfle benutzt. Das Gerät dient der fortlaufenden und wartungsfreien Registrierung von Windrichtung und -geschwindigkeit, wobei die Geschwindigkeit als Windweg aufgezeichnet wird. Die Registrierung erfolgt auf Wachs-Registrierpapier, das in vierwöchentlichem Abstand gewechselt wird. Im gleichen Abstand wird das Uhrwerk für den Transport des Registrierstreifens aufgezogen. Zwischenzeitliche Kontrollen sind erforderlich.

Da sich das Registriergerät nur 75 cm unterhalb des Gebers befindet, ist für den Streifenwechsel bzw. für die Kontrollmessungen die Besteigung des Mastes erforderlich.

Die Lufttemperatur wird mittels eines Thermographen gemessen. Als Meßfühler dient ein fast ringförmiges Bimetall, das sich bei Temperaturänderungen streckt oder krümmt. Diese Bewegungen werden über ein Hebelsystem auf einen Schreibarm übertragen. Eine an diesem angebrachte Schreibfeder registriert auf einem auf einer uhrwerksgetriebenen Trommel aufgespannten Registrierstreifen. Die Umlaufzeit der Trommel beträgt eine Woche, so daß in diesem Abstand der Streifen gewechselt werden muß.

Die relative Luftfeuchte wird mit Hilfe eines Hygrographen gemessen. Als Meßfühler werden im allgemeinen Frauenhaare, teilweise auch Pernixhaare benutzt, die

Topographic conditions	Number of stations
On slopes	5
In valleys or hollows	12
On mountain tops or ridges	7
In the plains	23
Main basin	1

The results of the temporary network available up to now show that it would be useful for further measurements to change the layout of the stations. In some places, especially in the plains, the network could be substantially reduced. On the other hand, on higher slopes of the Taunus and in densily built-up areas, such as the Frankfurt city area, there are not enough stations. Such changes, involving a reduction of the number of stations, should be carried out as soon as possible.

5.2.2. Measuring Instruments

5.2.2.1. Special measuring net (temporary measuring net)

A fenced-in measuring field of 4 x 4 m has been provided for the measurements. On an ascendable steel pipe mast in the center of the field a wind meter has been installed whose measuring feelers are 6 m above the ground. Moreover, a so-called English hut to accommodate the thermograph and the hygrograph has been installed on the field. The feelers of the latter equipment are 2 m above the ground.

The wind is measured with a mechanic anemograph according to Wölfle. This equipment is used for the continuous and maintenance-free registration of the wind direction and the wind velocity; the velocity is recorded as windpath. The registration is made on a wax registration paper which is changed every four weeks. The clockwork to transport the registration tape is wound up at the same intervals. Intermediate control is necessary.

Since the registration equipment is only 75 cm below the emittor it is necessary to climb up the mast to change the tape and control the measurements.

Air temperature is measured by a thermograph. An almost ring-shaped bi-metal which stretches or bends under changing temperatures is used as a feeler. These movements are transferred by a lever system to a recording arm. A recording pen attached to this arm registers the data on a registration tape which is mounted on a clockworkdriven cylinder. The rotation time of this cylinder is one week and the tape has to be changed at this interval.

The relative humidity is measured by an hygrometer. The hair of women and partly also Pernix hair is used as feelers since the hair expands when the humidity

sich bei zunehmender Feuchte ausdehnen und bei abnehmender verkürzen. Die Übertragung der Längenänderung auf das Registrierpapier erfolgt in ähnlicher Weise wie beim Thermographen. Auch der Hygrographenstreifen muß wöchentlich gewechselt werden.

Sämtliche Registrierungen werden nach stündlichen Werten ausgewertet. Die Auswertung erfolgt mit Hilfe eines Auswertegerätes, das die Daten unmittelbar auf Lochstreifen bringt. Mittels eines Umsetzers werden die physikalischen Werte nach einem bestimmten Programm auf Band gebracht.

5.2.2.2. Kleinaerologischer Meßzug

Zur Erfassung der vertikalen Verteilung von Temperatur, Feuchte und Wind werden Radiosonden verwendet. Als Träger dieser Meßgeräte dienen gefesselte und freifliegende Ballone.

Die Sonden enthalten die Meßfühler für den Luftdruck, die Lufttemperatur, Luftfeuchte und im besonderen Fall für die Windgeschwindigkeit sowie die Sendeeinrichtung zur Übertragung der Meßwerte an die Bodenstation. Verwendet werden eine Ein-Kanal-Sonde, eine leicht veränderte Form der im aerologischen Dienst des Deutschen Wetterdienstes eingesetzten Sonde des Typs M 60 und eine frequenzmodulierte 4-Kanalsonde. Die Ein-Kanal-Sonde wird fast ausschließlich für freifliegende Ballone benutzt, die M 60 teilweise für freifliegende und zum Teil für gefesselte und die 4-Kanalsonde ausschließlich für gefesselte Ballone verwendet.

Als Fesselballon dient ein stromlinienförmiger Ballon, der aus einem gummibeschichteten Perlongewebe besteht. Das Füllvolumen beträgt 20 cbm. Im aufgeblasenen Zustand hat der Ballon eine Länge von 7,50 m und einen größten Durchmesser von 2,80 m. Als Füllgas wird Wasserstoff, gelegentlich auch Helium benutzt. Der freie Auftrieb beträgt bei praller Füllung 10 kp. Die tatsächliche Nutzlast ist jedoch wesentlich geringer, da das Halteseil bei einer Länge von etwa 750 m allein schon 3 bis 4 kp wiegt. Das Gewicht der anzuhängenden Meßgeräte sollte 2 kp nicht übersteigen.

Mit dem Fesselballon können bei günstiger Wetterlage Höhen bis 1000 m über Grund erreicht werden. Im allgemeinen liegt die Meßhöhe nicht über 500 m, in besonderen Fällen muß aus Gründen der Flugsicherheit auch eine niedrigere Höhe eingehalten werden. Gemessen wird während des Auf- und Abstiegs. Zu Zeiten mit größeren zeitlichen Temperaturänderungen in den verschiedenen Höhen erfolgen die Messungen während einer Meßserie in stündlichem Abstand.

Als freifliegende Ballone werden kleinere, 100 g schwere Gummiballone benutzt, die mit Wasserstoff gefüllt werden. Ihre Steiggeschwindigkeit wird zwischen 100 und 200 m pro Minute gewählt.

Die vertikalen Strömungsverhältnisse werden mit freifliegenden Pilotballonen untersucht, deren Flugbahn

increases and shrinks when it diminishes. The change of length is recorded on the registration paper in a similar way as in the case of the thermograph. The hygrograph's tape has also to be changed every week. All registrations are analysed in terms of hourly data.

The analysis is carried out with an equipment which transfers the data directly on a perforated tape. The physical data are recorded on tape according to a certain programme by means of a converter.

5.2.2.2. Equipment for micro- and meso-meteorological field studies

Radiosondes are used to analyse the vertical distribution of temperature, humidity and wind. These measuring devices are carried by captive or free-drifting balloons.

The sondes contain the feelers for atmospheric pressure, air temperature, air humidity and, in special cases, for wind velocity together with the transmitters to transmit the data to the ground station. A one-channel sonde is used, a slightly modified form of the type M 60 sonde used by the German Weather Service for the purposes of the aerological service, and a frequency-modulated 4-channel sonde. The one-channel sonde is used almost exclusively for free-drifting balloons, the M 60 partly for freedrifting and partly for captive balloons, and the 4-channel sonde exclusively for captive balloons.

The captive balloon is a streamlined balloon made from a rubber-coated Perlon tissue. Its filling volume is 20 cu.m. When blown up the balloon has a length of 7.50 m and its largest diameter is 2.80 m. Hydrogen (occasionally also helium) is used as filling gas. The free updrift is 10 kp when tightly filled. However, the actual payload is considerably lower since the guy line with a length of about 750 m weights already 3 to 4 kg. The weight of the measuring equipment to be carried by the balloon should not exceed 2 kp.

The captive balloon can reach altitudes up to 1,000 m above ground in favourable weather conditions. In general, the measuring altitude is not more than 500 m, in special cases it has to be lower for reasons of air safety. The measuring is carried out during the climbing and descent. At times when the periodical differences of temperature are greater at the various altitudes measurements are carried out in series at intervals of one hour.

Smaller rubber balloons weighing 100 g and filled with hydrogen are used as free-drifting balloons. Between 100 and 200 m/min are chosen as rate of climb.

Vertical air current conditions are measured with free-flying pilot balloons whose flight path is followed and

mit Hilfe von Theodoliten verfolgt und vermessen wird. Die mit Wasserstoff gefüllten Ballone können so ausgewogen werden, daß sie mit einer bestimmten Geschwindigkeit, meist 100 m/min. steigen. In diesem Fall wird die Höhe aus der Steiggeschwindigkeit gewonnen und für die Vermessung genügt **ein** Theodolit. Genauere Daten erhält man jedoch durch eine Vermessung im Doppelanschnitt, wobei die Flugbahn mit zwei Theodoliten verfolgt wird. Nach diesem Verfahren werden Richtung und Geschwindigkeit des Windes in verschiedenen Höhen erfaßt.

Der Verlauf von Stromlinien, z. B. die Fließbewegung von Kaltluft wird mit Hilfe von Schwebeballonen untersucht. Diese Ballone werden derart ausgewogen, daß sie den Stromlinien der Luft unmittelbar folgen. Sie müssen mit Hilfe eines Doppelanschnitts vermessen werden.

5.3. Klimaelemente und meteorologische Parameter

5.3.1. Ergebnisse des meteorologischen Beobachtungsnetzes

5.3.1.1. Klimaräume und Klimabezirke

Im hessischen Gebiet grenzen 4 Klimaräume aneinander: NW-Deutschland, westl. Mitteldeutschland, SW-Deutschland und S-Deutschland (s. Karte 19 aus: Klima-Atlas von Hessen). Diese Räume sind durch ihre klimatischen Eigenheiten charakterisiert, die im wesentlichen durch die verschieden starken Einflüsse des Meeres und des Kontinents hervorgerufen werden.

Gerade Hessen stellt ein Übergangsgebiet dar zwischen dem unter dem Einfluß der Meeresluft stehenden NW-Deutschland und dem der Festlandsluft stärker ausgesetzten Mittel- und S-Deutschland. Dem Klima NW-Deutschlands sind milde Winter, kühle Sommer und Niederschlagsreichtum eigen.

Im westlichen Mitteldeutschland sind die Winter kälter, die Sommer denjenigen NW-Deutschlands gleich, die Niederschlagsmengen nehmen geringere Beträge an.

In SW-Deutschland herrschen **milde Winter** und **warme Sommer** vor, die **Niederschlagsmengen schwanken** beträchtlich je nach der Lage der Landschaften im Luv oder Lee zu den Mittelgebirgen und zu den regenbringenden westlichen Winden.

Der in Karte 19 erfaßte Teil von S-Deutschland weist kalte Winter, warme Sommer und geringe Niederschlagsmengen auf. Diese Klimaräume wurden in einzelne Klimabezirke unterteilt. Die Abgrenzung dieser Klimabezirke ist durch die naturräumliche Gliederung Hessens in Gebirge und Niederungen vorgezeichnet. Tabelle 1 zeigt eine Zusammenstellung charakteristischer Klimaelemente, wobei das Untersuchungsgebiet der Region Untermain in dem besonders gekennzeichneten Klimabezirk liegt.

measuring by means of theodolites. The hydrogen-filled balloons can be balanced so as to climb at a certain rate, mostly 100 m/min. In that case the altitude is derived from the rate of climb, and **one** theodolite is sufficient for the measurements. More exact data, however, are obtained only by twin measurements when the flight path is followed by two theodolites. This procedure covers wind direction and wind velocity at various altitudes.

The direction of streamlines such as the flowing movement of cold air is examined by using drifting balloons. These balloons are balanced so that they will follow directly the streamlines of the air. They have to be twin-measured.

5.3. Climatological elements and meteorological parameters

5.3.1. Results of the meteorological observation net

5.3.1.1. Climatic regions and climatic districts

4 climatic areas are bording in the region of the Land Hessen: NW Germany, western Central Germany, SW Germany and South Germany (see map 19 from: Climatic Atlas of Hessen). These areas are characterized by their climatic particularities which are caused primarily by the varying influences of the sea and the continent.

Especially Hessen is a transition area between NW Germany, which is under the influence of the sea air, and Central and S-Germany, where continental air predominates. Typical for the climate in NW Germany are mild winters, cool summers and frequent precipitations.

In western Central Germany winters are colder, the summers similar to those in NW Germany, precipitations are inferior in volume.

In SW Germany **winters are mild, summers warm** and the **volume of precipitations varies** considerably depending on whether the area is on the windward or the lee side of the mountains and the rain-bearing western winds.

The part of S-Germany shown in map 19 has cold winters, warm summers and few precipitations. These climatic areas have beeen sub-divided into various climatic districts. The limits of these districts are determined by the natural structure into mountains and plains of Hessen: Table 1 gives a summary of characteristic climatic elements in which the survey area of the Untermain region has been specially marked.

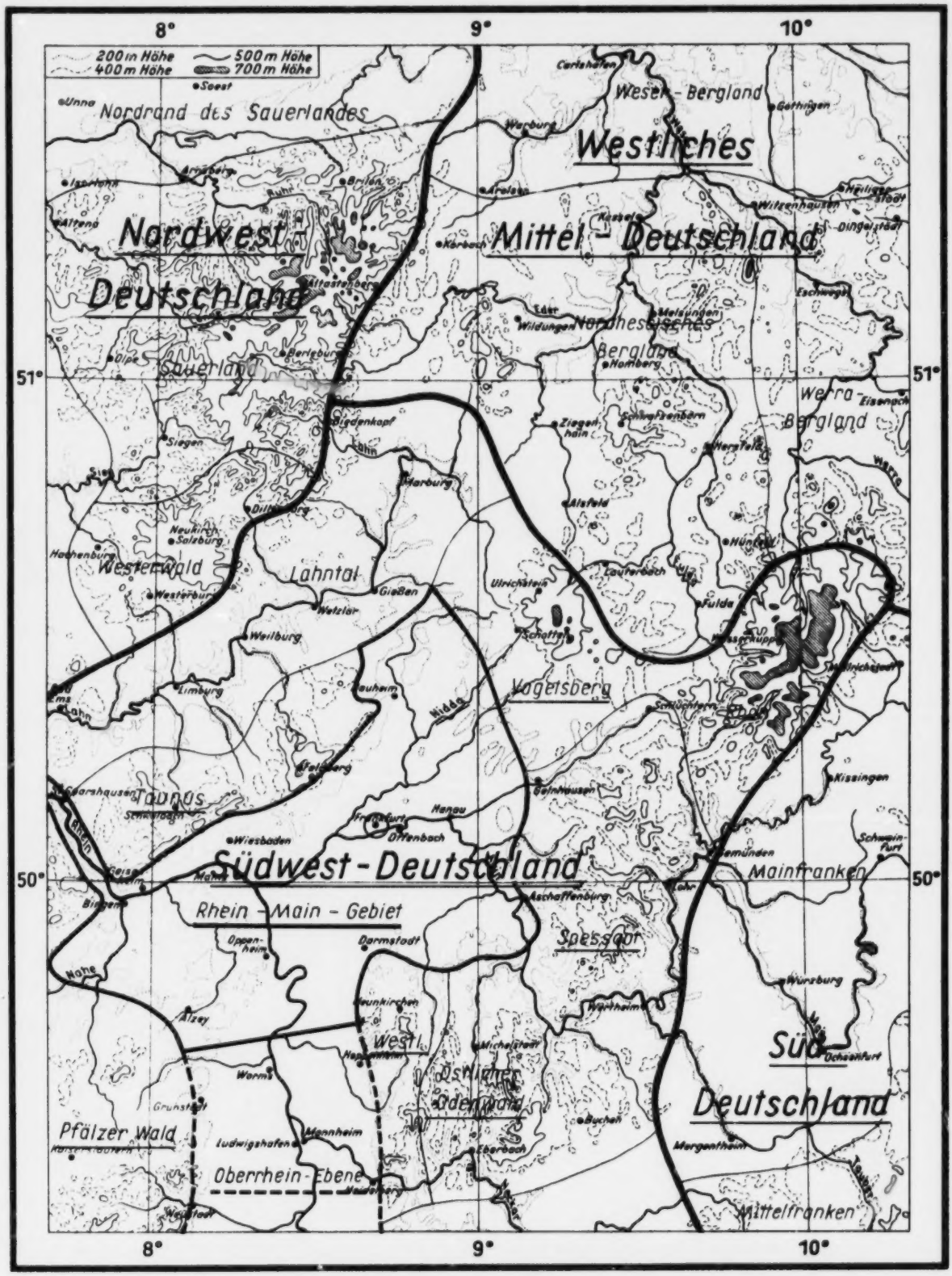
Tab. 1: **Klimabezirke Hessens mit Mittelwerten der markantesten Klimaelemente**

Table 1: **Climatic districts of Hessen with mean values of the most remarkable climatological elements**

	Seehöhe (m) / High above sea level (m)	Durchschnittliche Monatsmittel der Lufttemperatur (°C) / Average monthly mean of air moisture (°C) Januar / January	Juli / July	Differenz Okt.-April / difference Oct.-April	Mittlere Jahresschwankung der Lufttemperatur (°C) / Mean annual fluctuation of air temperature (°C)	Mittlere Dauer eines Tagesmittels der Lufttemperatur von mindestens 5° C / Mean duration of a daily mean of air temperature of at least 5° C in days	10° C in Tagen / 10° C in days	Mittlere Jahressummen des Niederschlags (mm) / Mean annual sum of precipitation (mm)	Monat der größten Niederschlagsmenge / Month of the largest quantity of precipitation	Mittlere Zahl der Tage mit Schneedecke ≥ 0 cm / Mean number of days with snow layer ≥ 0 cm
Nordwestdeutschland										
Nordsauerland	200	1,0	16,8	1,3	15,8	232	158	750-850	VII	33
Sauerland	400	– 0,5	15,5	1,1	16,0	212	139	1000	VII, XII	61
	700	– 2,1	13,4	2,0	15,5	183	113	1300	XII	100
Westerwald	400	– 1,0	15,5	0,9	16,5	212	144	950	VII, XII	62
Westliches Mitteldeutschland										
Nordhessisches Bergland	200	– 0,5	16,8	1,0	17,3	222	156	600-650	VII	31-40
	400	– 1,7	15,6	1,3	17,3	205	140	700-750	VII	63
Werra-Bergland	200	– 0,7	16,8	1,0	17,5	222	156	600	VII	30-40
	400	– 1,9	15,6	1,3	17,5	204	143	700	VII	65
Weser-Bergland	200	– 0,3	16,8	1,2	17,1	223	157	650-750	VII	35-40
Südwestdeutschland										
Lahntal mit Randhöhen	200	– 0,3	17,3	0,5	17,6	228	159	650	VII	30-40
Taunus	**400**	**– 1,2**	**16,2**	**0,7**	**17,4**	**210**	**147**	**750**	**VI, VII, VIII**	**52**
	700	**– 2,5**	**14,2**	**1,3**	**16,7**	**188**	**122**	**950**	**VII, X**	**80**
Vogelsberg-Röhn	400	– 1,4	16,1	0,7	17,5	210	145	800-950	VII, VIII, XII	55-60
	700	– 3,1	14,0	1,2	17,0	187	120	1000-1200	VII, XII	95
Rhein-Main-Gebiet	**100**	**0,5**	**18,5**	**0,2**	**18,0**	**240**	**173**	**600**	**VI, VII, VIII**	**28**
	200	**0,0**	**17,5**	**0,3**	**17,5**	**230**	**164**	**550-700**	**VI, VII, VIII**	**35**
Pfälzer Wald	400	– 0,7	16,8	0,5	17,5	220	153	750	VII	55
Oberrhein-Ebene	100	0,5	19,0	0,0	18,5	245	178	600	VI, VII	28
	200	0,0	18,2	0,2	18,2	237	168	600-750	VII	26-30
Westlicher Odenwald	400	– 0,8	16,8	0,5	17,6	220	153	950	VII	55
Östl. Odenwald, Spessart	400	– 1,2	16,4	0,5	17,6	215	150	900	VII, XII	57
Süddeutschland										
Mainfranken	200	– 0,5	17,8	0,2	18,3	228	165	600	VII, VIII	35-40
Mittelfranken	400	– 1,5	16,5	0,4	18,0	213	152	700	VII	55

Klima-Atlas von Hessen
Herausgeber: Deutscher Wetterdienst

Maßstab, Scale 1:1 000 000



5.3.1.2. Temperatur-, Feuchte-, Niederschlagsverhältnisse und Sonnenscheindauer des langen Zeitraumes im Vergleich zu Juli 1971 – Juni 1972

Die mittleren Jahresgänge der Lufttemperatur (Abb. 40 und 41) unterscheiden sich bezüglich der Extremwerte und der Schwankungsbreite in erster Linie nach der Höhe der Station über NN. Im Hinblick auf die mittleren Wärmemengen, die in der Hauptvegetationsperiode (Mai, Juni und Juli) zur Verfügung stehen, ist besonders die Oberrhein-Main-Ebene mit dem Maintal und dem Mittelrheintal begünstigt. Auf dem Kl. Feldberg/Ts mit 805 m Höhe über NN steigt die Mitteltemperatur von 9,4° C im Mai über 12,5° C im Juni nur auf 14,2° C im Juli an. Im Rhein-Main-Becken (Station Frankfurt mit 103 m NN) steigen die Mitteltemperaturen dagegen von 14,5° C im Mai über 17,8° C im Juni bis auf 19,4° C im Juli. Dieser Höhenunterschied von 700 m zwischen der Ebene und den das Rhein-Main-Becken einrahmenden Randhöhen der Mittelgebirge wirkt sich auch in der Jahresschwankung der Lufttemperatur aus. Die Differenz zwischen dem größten und kleinsten Monatsmittel der Lufttemperatur ergibt, daß in der Rhein-Main-Ebene diese Jahresschwankung 18° C überschreitet. Die Gebirge (Taunus, Spessart, Hardt und Odenwald) heben sich dagegen durch eine geringere Jahresschwankung von ihrer Umgebung ab (ca. 16° C auf dem Kl. Feldberg); die Ursache dafür ist der größere Durchgriff der Höhenströmung an den Bergstationen, die sich hier stärker durchsetzt als in den Beckenlandschaften. Es ist aber nicht nur der Höhenunterschied allein, der an den Stationen zu unterschiedlichen Temperaturverhältnissen führt; dies geht aus einem Vergleich der Station Frankfurt-Stadt, Offenbach, Flughafen und Nidderau-Windecken hervor. Bei Frankfurt und Offenbach macht sich der Wärmeinsel- bzw. Stadteffekt bemerkbar; das Maximum der Lufttemperatur liegt an beiden Stationen im Juli über 19,3° C, während das Minimum im Januar ebenfalls an beiden Stationen über 0,7° C liegt. Die Station Flughafen dagegen ist nicht so sehr von der Stadt und ihren die Klimaelemente verändernden Wirkungen beeinflußt. Das Jahresmittel liegt hier um 0,6 bis 0,8° C niedriger als in Offenbach bzw. Frankfurt. Bezüglich der Temperaturverhältnisse scheint sich das Untersuchungsgebiet der Region Untermain in 3 Gebiete einteilen zu lassen:

1. Stadtgebiete bzw. die eigentlichen Ballungszentren mit Gebäuden, Industrien und der damit verbundenen anthropogenen Beeinflussung der Klimaelemente (Wärmeinsel); (Erhöhung der Temperatur und Abnahme der rel. Feuchte).

2. Die nähere Umgebung der Ballungszentren südlich des Mains (niedrigere Temperaturen und höhere rel. Feuchte gegenüber Stadtgebieten).

3. Das Taunusgebiet (geringere Jahresschwankung der Temperatur). Mit Hilfe des bestehenden Beobachtungsnetzes des Deutschen Wetterdienstes ist eine genauere Erfassung dieser Gebiete nicht möglich, daher wurde im Jahre 1971 ein Sondermeßnetz eingerichtet (siehe Kapitel 5.3.2).

5.3.1.2. Temperature-, humidity-, precipitation-conditions and sunshine duration of the long period in comparison with July 1971 – June 1972

The average annual air temperature (fig. 40 and 41) vary – in regard of extreme values and extension of fluctuations – primarily according to the altitude of the station above NN. As for the average heat volume, available during the main vegetation period (May, June, July), the Upper-Rhein-Main plain with the Main valley and the central Rhein valley are especially favoured. At the "Kleine Feldberg" mountain in the Taunus – altitude 805 m above NN – the average temperature rises from 9.4° C in May to 12.5° C in June, but only to 14.2° C in July. In the Rhein-Main basin (Frankfurt station 103 m NN) on the other hand, average temperatures rise from 14.5° C in May to 17.8° C in June and up to 19.4° C in July. This difference in altitude between the plain and the fringe of mountains surrounding the Rhein-Main basin also has an impact on the annual fluctuation of the air temperature. The difference between the highest and the lowest monthly average shows that this annual fluctuation in the Rhein-Main plain exceeds 18° C. Contrary to their surroundings, temperatures in the mountain ranges (Taunus, Spessart, Hardt and Odenwald) fluctuate less (about 16° C at the "Kleine Feldberg"); this is due to the altitude currents at the mountain stations which are more penetrating there than in the plain. However, it is not only the difference in altitude which causes varying temperatures at the stations; this is evident from a comparison between the stations Frankfurt city, Offenbach, airport and Nidderau Windecken. Frankfurt and Offenbach are influenced by the "heat island" or city effect; at both stations the maximum air temperature is above 19.3° C in July, while the January minimum, also at both stations, is above 0.7° C. The airport station, on the other hand, is less influenced by the city and its climate-changing effects. The annual average there is about 0.6 – 0.8° C lower than in Offenbach or Frankfurt. It appears that the survey area of the Untermain region can be divided into three sectors as far as temperature conditions are concerned:

1. City areas, i. e. the heavily populated areas with buildings, industries and the connected anthropogenous influence on climatic elements (heat island); (rise of temperature and reduced relative humidity).

2. The closer environment of the heavily populated areas south of the river Main (low temperatures and higher relative humidity compared with the city).

3. The Taunus region (few annual temperature fluctuations). A more exact analysis of these areas was not possible with the existing observation network of the German Weather Service, therefore, a special network was established in 1971 (see 5.3.2.).

Preceding page blank

Tabelle 2 zeigt die Jahresmittel der Lufttemperatur, der relativen Feuchte und die Jahressummen des Niederschlags sowohl eines langen Zeitraumes als auch des Zeitraumes Juli 1971 bis Juni 1972.

Table 2 shows the annual average air temperature and relative humidity as well as the annual total of precipitations both for a long period and for the period from July 1971 to June 1972.

Tab. 2:
Table 2:

Station	Höhe über NN Altitude above NN	(1931–60)		(1951–60)	Juli 1971 – Juni 1972 July 1971 – June 1972		
		T °C	F %	RR mm	T °C	F %	RR mm
Kleiner Feldberg	805	5,7	85	959	6,0	84	684
Königstein	376	8,3	78	779	–	–	–
Frankfurt-Stadt/city	103	10,2	74	677	10,2	74	478
Offenbach	99	10,0	–	654	10,5	72	469
Frankfurt-Flughafen/airport	110	9.4	77	663	9,8	76	476
Nidderau-W.	155	9,3	–	629	9,6	76	563

T = Temperatur in (° C) / temperature in (° C)
F = Rel. Feuchte in (%) / relative humidity (%)
RR = Niederschlagsmenge in (mm) / precipitations (mm)

Die mittleren Jahresgänge der Lufttemperatur, der rel. Feuchte und der Niederschlagssummen sind in den Abb. 40 und 41 dargestellt. Dem Verlauf dieser einjährigen Größen ist der des Zeitraums Juli 1971 bis Juni 1972 gegenübergestellt.

The average annual development of the air temperature, relative humidity and precipitation sums is shown in fig. 40 and 41. It is the annual development from July 1971 to June 1972.

Vor allem die Monatssummen des Niederschlags zeigen, daß das Untersuchungsjahr 1971/72 zu trocken war, d. h. es fiel ca. 200 mm zu wenig Niederschlag, das sind rund 30 Prozent weniger als es dem langjährigen Mittel entspricht. Besonders im 2. Halbjahr 1971 waren die Monate Juli, September und Oktober zu trocken, ebenso der Winter 71/72 (Dezember, Januar, Februar). Die Ursache liegt in der die Witterung bestimmenden Häufigkeit des Auftretens bestimmter Großwetterlagen. Ein Vergleich der Häufigkeit der Großwettertypen des Zeitraumes 1881 bis 1966 mit dem Zeitraum Juli 1971 bis Juni 1972 (Abb. 42) läßt erkennen, daß der niederschlagsarme Winter 71/72 eine Folge der gegenüber dem langen Zeitraum mehr als doppelt so häufig auftretenden Ostlagen (E) war.

The monthly precipitation sums show, in particular, that the survey year of 1971/72 was too dry, i. e. the volume was 200 mm below normal which is 30 % less than the long-term average. Especially during the second half of 1971 the months of July, September and October were too dry and the same applies to the winter 71/72 (December, January, February). This was caused by the frequency of certain weather-determining major weather conditions. When comparing the frequency of types of major weather conditions during the period of 1881 – 1966 with those from July 1971 to June 1972 (fig. 42) it turns out that the dry winter of 71/72 was caused by the frequency of east winds, which was more than twice as high as during the first period.

Bei den niederschlagsarmen Herbstmonaten (1971) tritt dieser Zusammenhang nicht so klar hervor, da im November 1971 übernormale Niederschläge gefallen sind. Die geringen Niederschläge im September und Oktober dagegen dürften eine Folge der gegenüber dem langjährigen Mittel vermehrt auftretenden Hochdrucklagen über Mitteleuropa (HM), und der häufigeren Nordlagen (N) sein (Abb. 42).

This connection is not quite as clear in the dry autumn months of 1971 because the precipitations in November 1971 were above average. The light precipitations in September and October, on the other hand, were probably the result of more frequent high pressure weather over Central Europe – compared with the longterm average – and the more frequent north winds (fig. 42).

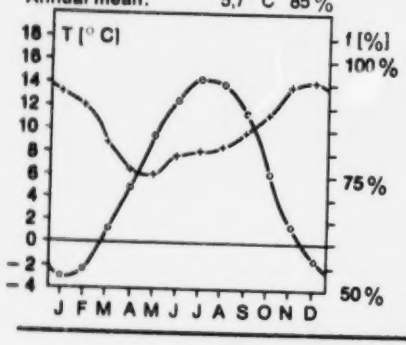
Der mittlere Jahresgang der rel. Feuchte des langjährigen Zeitraums in der Abb. 40 und 41 zeigt ein Minimum im Frühjahr. In dieser Jahreszeit (März, April, Mai) bestimmen die Großwetterlagen des Typs Nord (N) häufig die Witterung in Mitteleuropa. Die dabei herangeführten Luftmassen sind relativ trocken; die Ursache ist der Übertritt der zwar vom Meer her mit Feuchtigkeit angereicherten – aber kalten – Luft auf das Land, wobei sie auf dem Weg nach Mitteleuropa erwärmt wird. Mit dieser Erwärmung nimmt die rel. Feuchte ab und führt so in den Monaten April und Mai zu einem Minimum der rel. Feuchte. Abb. 40 und 41

The average development of the relative humidity during the long-term period shown in fig. 40 and 41 indicates a minimum in the spring. During that season (March, April, May) the major weather conditions of the type north often determine the weather in Central Europe. The masses of air brought in under these conditions are relatively dry; the reason is that the air, although enriched with humidity by the sea, but which is cold, warms up on its way to Central Europe. The relative humidity diminishes when the air warms up and this leads to a minimum relative humidity in April and May. Fig. 40 and 41 show furthermore that of all

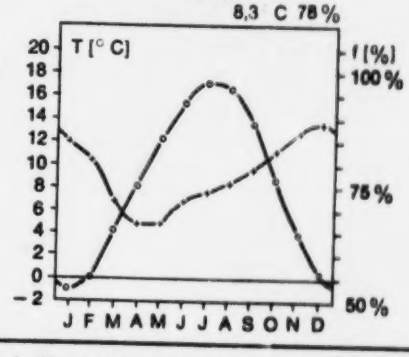
Mittlerer Jahresgang der Lufttemperatur 1931–60 und der relativen Luftfeuchte im langjährigen Mittel 1951–60
Mean annual variation of air temperature 1931–60
and of the relative air moisture in the many years lasting mean 1951–60

Abb. 40
Fig. 40

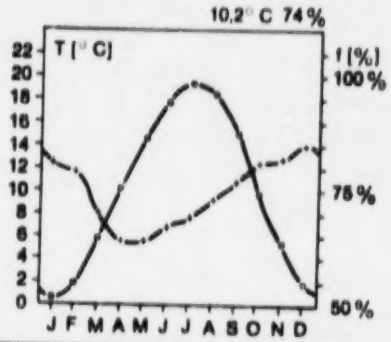
Kl. Feldberg 805 mm NN
Jahresmittel: 5,7 °C 85 %
Annual mean:



Königstein 376 m NN
T 42–60
8,3 °C 78 %

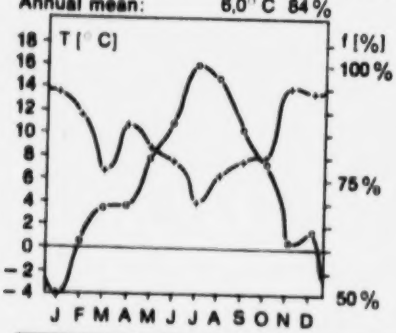


Frankfurt-Stadt
10,2 °C 74 %

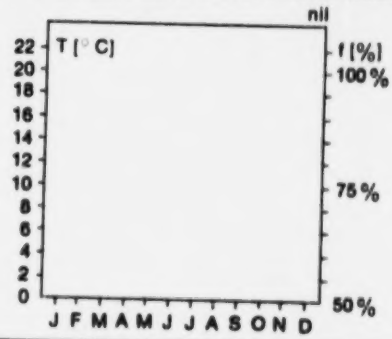


Mittlerer Jahresgang der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte im Juli 1971 – Juni 1972
Mean annual variation of air temperature and of the relative air moisture in July 1971 – June 1972

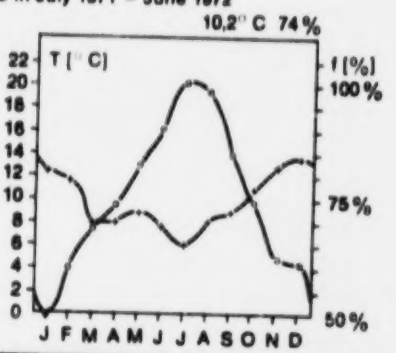
Jahresmittel: 6,0 °C 84 %
Annual mean:



nil

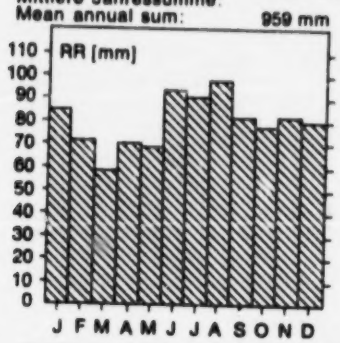


10,2 °C 74 %

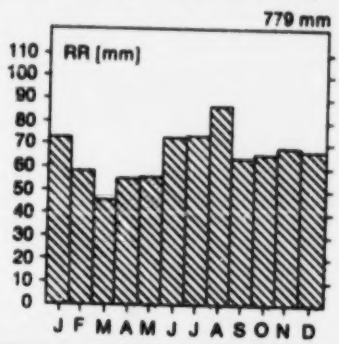


Mittlere Monatssummen des Niederschlags im langjährigen Mittel: 1931–60
Mean monthly sums of precipitation in the many years lasting mean: 1931–60

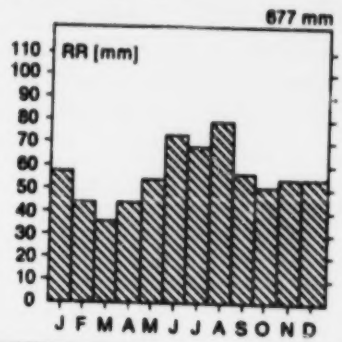
Mittlere Jahressumme: 959 mm
Mean annual sum:



779 mm

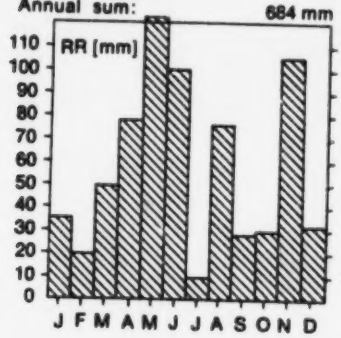


677 mm

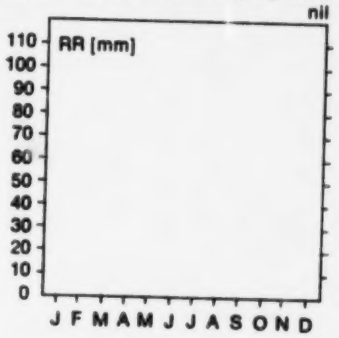


Monatssummen des Niederschlags (Juli 1971 – Juni 1972)
Monthly sums of precipitation (July 1971 – June 1972)

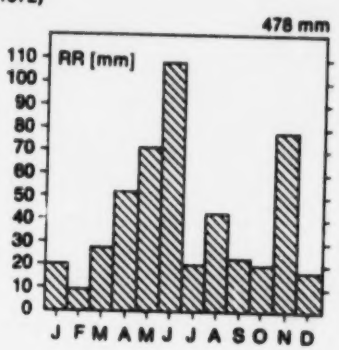
Jahressumme: 684 mm
Annual sum:



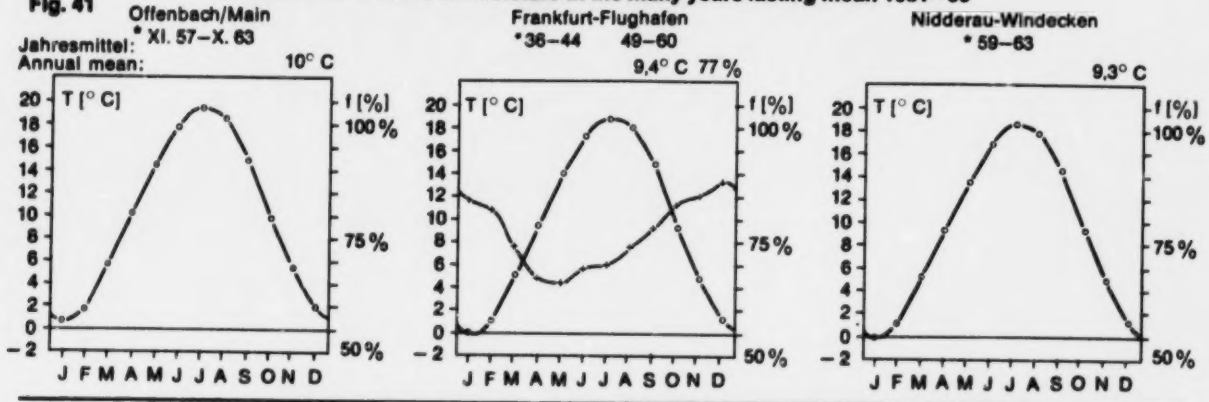
nil



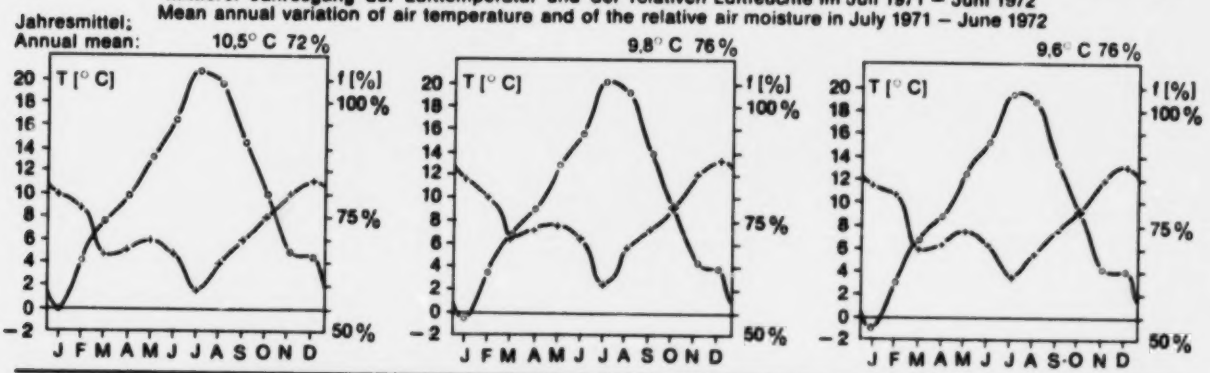
478 mm



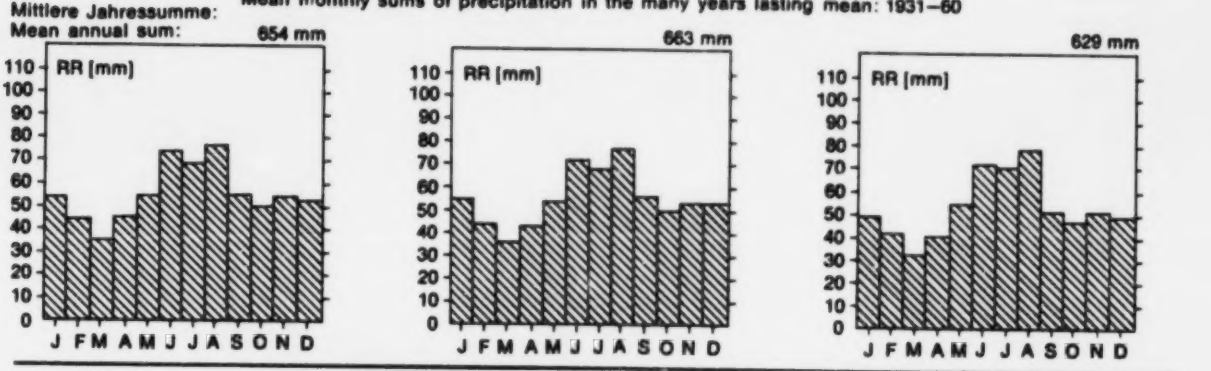
Mittlerer Jahresgang der Lufttemperatur (siehe*) und der relativen Luftfeuchte im langjährigen Mittel 1951–60
Mean annual variation of air temperature (see*)
Abb. 41
Fig. 41
and of the relative air moisture in the many years lasting mean 1951–60



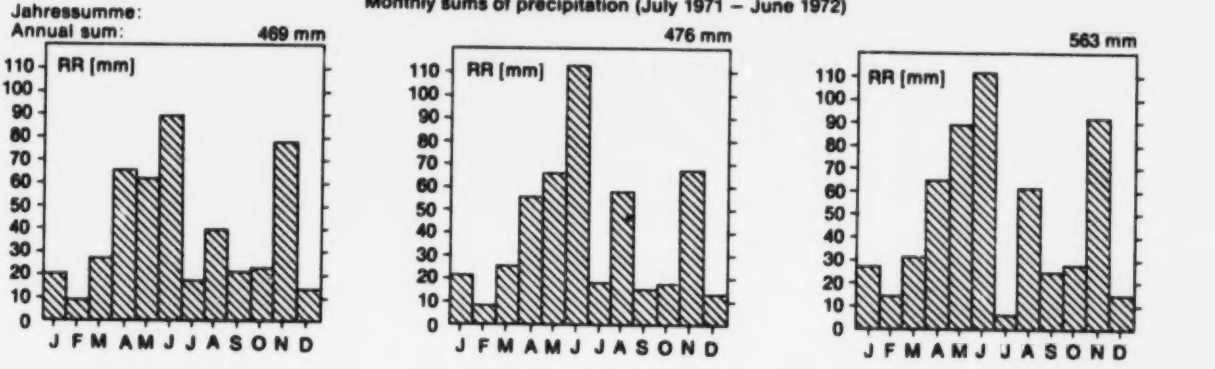
Mittlerer Jahresgang der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte im Juli 1971 – Juni 1972
Mean annual variation of air temperature and of the relative air moisture in July 1971 – June 1972



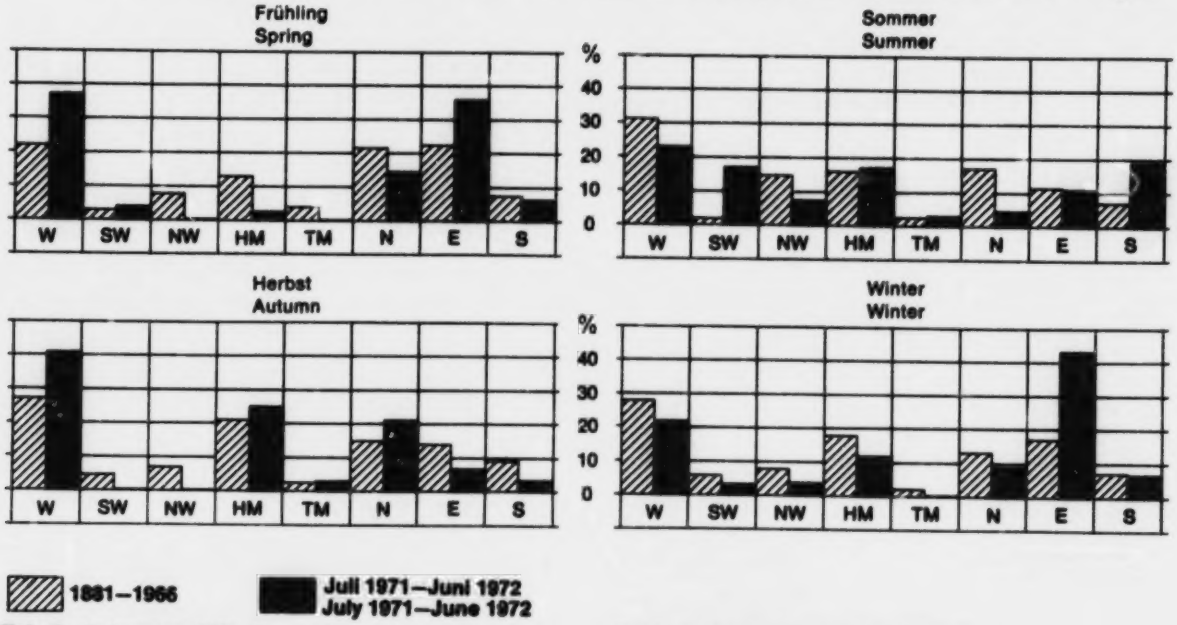
Mittlere Monatssummen des Niederschlags im langjährigen Mittel: 1931–60
Mean monthly sums of precipitation in the many years lasting mean: 1931–60



Monatssummen des Niederschlags (Juli 1971 – Juni 1972)
Monthly sums of precipitation (July 1971 – June 1972)



Häufigkeit der Großwettertypen 1881–1966 im Vergleich Juli 1971–Juni 1972 **Abb. 42**
Frequency of large scale weather types 1881–1966 in comparison with July 1971–June 1972 **Fig. 42**



Tab. 2: Anhang zu Abb. 42
Übersicht über die Großwetterlagen Europas

Bezeichnung	Abkürzungen
A. Großwetterlagen der zonalen Zirkulationsform	
1. Westlage, antizyklonal	WA
2. Westlage, zyklonal	WZ
3. Südliche Westlage	WS
4. Winkelförmige Westlage	WW
B. Großwetterlagen der gemischten Zirkulationsform	
5. Südwestlage, antizyklonal	SWA
6. Südwestlage, zyklonal	SWZ
7. Nordwestlage, antizyklonal	NWA
8. Nordwestlage, zyklonal	NWZ
9. Hoch über Mitteleuropa	HM
10. Hochdruckbrücke (Rücken) über Mitteleuropa	BM
11. Tief Mitteleuropa	TM
C. Großwetterlagen der meridionalen Zirkulationsform	
12. Nordlage, antizyklonal	NA
13. Nordlage, zyklonal	NZ
14. Hoch Nordmeer-Island, antizyklonal	HNA
15. Hoch Nordmeer-Island, zyklonal	NNZ
16. Hoch Britische Inseln	HB

Table 2: Appendix to illustration 42
Survey of the large scale weather pattern of Europe

Name	Abbreviation
A. Large scale weather types induced by a zonal circulation pattern	
1. westerly flow, anticyclonic	WA
2. westerly flow, cyclonic	WZ
3. cyclonic westerly flow with slight southerly component	WS
4. angular westerly flow	WW
B. Large scale weather types of the mixed circulation pattern	
5. southwesterly flow, anticyclonic	SWA
6. southwesterly flow, cyclonic	SWZ
7. northwesterly flow, anticyclonic	NWA
8. northwesterly flow, cyclonic	NWZ
9. well-defined closed high over Central Europe	HM
10. high pressure bridge over Central Europe	BM
11. cyclone over Central Europe	TM
C. Large scale weather types of the general meridional circulation pattern	
12. northerly flow, anticyclonic	NA
13. northerly flow, cyclonic	NZ
14. well-defined closed high over the Norwegian Sea, anticyclonic flow in Central Europe	HNA
15. well-defined closed high over the Norwegian Sea, cyclonic flow in Central Europe	NNZ
16. well-defined closed high over the British Isles	HB

Bezeichnung	Abkürzungen
17. Trog Mitteleuropa	TRM
18. Nordostlage, antizyklonal	NEA
19. Nordostlage, zyklonal	NEZ
20. Hoch Fennoskandien, antizyklonal	HFA
21. Hoch Fennoskandien, zyklonal	HFZ
22. Hoch Nordmeer-Fennoskandien, antizyklonal	HNFA
23. Hoch Nordmeer-Fennoskandien, zyklonal	HNFZ
24. Südostlage, antizyklonal	SEA
25. Südostlage, zyklonal	SEZ
26. Südlage, antizyklonal	SA
27. Südlage, zyklonal	SZ
28. Tief Britische Inseln	TB
29. Trog Westeuropa	TRW

Name	Abbreviation
17. Central European trough	TRM
18. northeasterly flow, anticyclonic	NEA
19. northeasterly flow, cyclonic	NEZ
20. well-defined closed high over Fenoscandia, anticyclonic flow over Central Europe	HFA
21. well-defined closed high over Fennoscandia, anticyclonic flow over Central Europe	HFZ
22. well-defined closed high over the Norwegian Sea and Fennoscandia, anticyclonic flow over Central Europe	HNFA
23. well-defined closed high over the Norwegian Sea and Fennoscandia, cyclonic flow over Central Europe	HNFZ
24. southeasterly flow, anticyclonic	SEA
25. southeasterly flow, cyclonic	SEZ
26. southerly flow, anticyclonic	SA
27. southerly flow, cyclonic	SZ
28. well-defined closed low over the British Isles	TB
29. West-European trough	TRW

Übersicht über die Großwettertypen

Survey about the large scale weather types

Zirkulationsform Zonal circulation pattern	Großwettertyp (GWT) Large scale weather type	Großwetterlage Large scale weather pattern	Luftmassen (nach SCHERHAG) Air masses (by SCHERHAG)
zonal zonal	West west	WA, WZ, WS, WW	mTP, mPT
gemischt mixed	Südwest southwest	SWA, SWZ	mT, mTP
	Nordwest northwest	NWA, NWZ	mPT, mP
	Hoch Mitteleuropa anticyclone Central Europe	HM, BM	verschieden übergehend in cPT oder cTP different passing over into cPT or cTP
	Tief Mitteleuropa cyclone Central Europe	TM	verschieden different
meridional meridional	Nord north	NA, NZ HNA, HNZ, HB, TRM	mPA, mP
	Nordost northeast	NEA, NEZ	cPA, cP
	Ost east	HFA, HFZ, HNFA, HNFZ	cP, cPT
	Südost southeast	SEA, SEZ	cT, cPT
	Süd south	SA, SZ TB, TRW	mT, mTP (cT)

zeigt weiter, daß von allen Jahreszeiten die Nordlagen im Frühjahr am häufigsten sind (1881 bis 1966). Das Minimum der rel. Feuchte im Frühjahr 1972 (März und April) dürfte auf die in diesem Jahr sehr häufigen Ostlagen (E) zurückzuführen sein; daß dieses Minimum trotzdem höher liegt als nach dem langjährigen Wert zu erwarten wäre, resultiert aus der übernormalen Häufigkeit der Westlagen (W) im Frühjahr 1972. Auffallend ist außerdem das Minimum der rel. Feuchte im Juli 1971; dieses Minimum fehlt im mittleren Jahresgang des langen Zeitraumes. Die Ursache liegt in der geringen Häufigkeit der Westlagen und in dem vermehrten Auftreten der Südlagen (Sommer 1971) (Abb. 42).

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß das Jahr 1971/72 etwas wärmer und erheblich trockener war als es den langjährigen Mittelwerten entspricht. Aus den mittleren Monatssummen der Sonnenscheindauer ergibt sich eine vermehrte Sonneneinstrahlung von ca. 5 Prozent gegenüber langjährigen Mittelwerten (Tab. 3).

seasons, northern winds are the most frequent in the spring (1881 – 1966). The minimum relative humidity in the spring of 1972 (March and April) was probably due to the very frequent east winds during that year; the fact that in spite of this the minimum is still higher than it was to be expected on the basis of the long-term data, is due to the frequency of west winds which was above normal in the spring of 1972. Another surprise is the minimum of relative humidity in July 1971; this minimum does not exist in the average annual development of the long-term period. It has to be attributed to the less frequent west winds and the more frequent east winds (summer of 1971) (fig. 42).

In conclusion it can be said that the year of 1971/1972 was somewhat warmer and considerable dryer than the long-term average. The average monthly sunshine periods were about 5% longer than during the long-term average (Tab. 3).

Mittlere Monatssummen der Sonnenscheindauer in Stunden (1951–60) im Vergleich zum Zeitraum VII/71 – VI/72 **Tab. 3:**

Average total sunshine hours (1951–60) compared with the period of July 1971 – June 1972 **Table 3:**

Station	Zeitraum period	Höhe ü. NN Altitude above NN	Jan.	Feb.	März/March	Apr.	Mai/May	Juni/June	Juli/July	Aug.	Sept.	Okt./Oct.	Nov.	Dez./Dec.	Jahr/Year
Kleiner Feldberg	1951–60	805	49	78	146	183	219	206	210	185	159	116	46	38	1635
	1971/72	805	52,1	57,7	195,0	116,1	128,1	193,1	304,9	231,5	194,1	179,7	46,4	47,6	1746,3
Frankfurt/Main-Flughafen/airport	1951–60	110	46	69	144	188	230	211	218	196	162	103	44	29	1640
	1971/72	110	46,8	41,5	183,7	133,5	148,8	195,2	310,3	237,5	182,2	162,0	45,1	25,6	1712,2

5.3.1.3. Windverhältnisse

5.3.1.3.1. Zeitraum 1951 bis 1960

Ein Vergleich der Stationen Kleiner Feldberg und Frankfurt-Flughafen ist durch die unterschiedliche Seehöhe gekennzeichnet. Der Einfluß der Bodenreibung ist an der Bergstation geringer als in der Ebene. Nach der Theorie müßten die häufigsten Windrichtungen am Kleinen Feldberg gegenüber denen der Talstation nach rechts gedreht sein. Ein Vergleich der häufigsten Windrichtungen (Abb. 43) bestätigt dies (SW bis W in der Rhein-Main-Ebene, W bis NW auf dem Feldberg, analog NE in der Niederung, E auf den Kammlagen); die besondere Orographie, der von WSW nach ENE verlaufende Taunus, verstärkt diesen Effekt durch seine Leitwirkung vor allem an den Talstationen. Die Windrosen von Hofheim zeigen diese Leitwirkung besonders deutlich im Vergleich zu den weiter in der Ebene liegenden Stationen Frankfurt-Stadt und Flughafen, wobei in Hofheim durch seine Lage am Fuße des Taunus die westlichen Winde am häufigsten, Ostwinde am zweithäufigsten auftreten. Im Rhein-Main-Becken sind diese Vorzugsrichtungen SW mit einem zweiten Richtungsmaximum bei NE. Die

5.3.1.3. Wind Conditions

5.3.1.3.1. Period 1951 – 1960

The essential feature of a comparison between the stations Feldberg and Frankfurt airport is the different altitude above sea level. The influence of the friction on the ground is less strong at the mountain station than in the plain. Theoretically the most frequent wind directions at the Feldberg should be turned to the right compared with those at the valley stations. A comparison of the most frequent wind directions (fig. 43) confirms this (SW to W in the Rhein-Main plain, W to NW on the Feldberg, anologous NE in the plain, E on the mountain ridge); the special orography of the Taunus with its WSW to ENE orientation intensifies this effect because of its conductive capacity especially in the stations in the plain. The windroses at Hofheim show this conductive capacity much clearer than the stations Frankfurt city and airport which are located farther away in the plain. Due to its location at the foot of the Taunus, west winds are most frequent, and east winds secondmost frequent at Hofheim. The most frequent wind directions in the Rhein-Main basin are SW winds, NE winds are second. The

mehr kreisförmige Verteilung am Kleinen Feldberg läßt als bevorzugte Windrichtung W und NW sowie SW und E-Winde erkennen.

Die in Abb. 43 dargestellten Häufigkeitsverteilungen der Windrichtung in ihrem jahreszeitlichen Verlauf lassen sich demnach einmal mit der Orographie und zum anderen mit dem Jahresgang der Großwetterlagen erklären.

Von Bedeutung ist demnach die Streichrichtung des Taunus, dessen Kamm von WSW nach ENE verläuft. Im Oberrheingraben werden daher Winde aus westlichen und südlichen Richtungen zu Südwestwinden umgelenkt. Winde aus nördlichen Richtungen werden dagegen zu Nordostwinden.

Ordnet man die Großwetterlagen nach den Hauptzirkulationsformen, so findet man im Frühjahr überwiegend meridionale Zirkulation (Nord-Süd- oder Süd-Nord-Strömung), hervorgerufen durch die zahlreichen Ost-, NE und N-Lagen. Übereinstimmend damit werden an den Stationen (Abb. 43, Frühjahr) im Frühjahr am häufigsten NE-Winde gemessen. Im Sommer erfolgt mit der Umstellung auf zonale Zirkulation (Westströmung) eine Zunahme der SW-Winde. Daß die in den Herbst fallende Meridionalisierung nur ein Sekundärmaximum der NE-Winde bewirkt, liegt an der Beteiligung der gerade in dieser Zeit häufigen Südlagen. Sie bewirken, zusammen mit den westlichen Strömungen, daß die SW-Winde vorherrschend bleiben.

Im Winter nimmt die Häufigkeit der NE-Winde infolge der Umstellung auf zonale Zirkulation (Westwinde) und der damit verbundenen Zunahme der Westlagen ab, so daß im Winter wiederum ein SW-Maximum liegt.

Die mittleren Windgeschwindigkeiten zeigen, daß die Winde aus westlichen Richtungen am stärksten sind.

Da die Windgeschwindigkeit stark reliefabhängig ist, wirken sich sowohl die das Rhein-Main-Gebiet umschließenden Höhenzüge als auch die Bebauungsdichte auf die Windgeschwindigkeit aus. Besonders deutlich zeigt sich dies in der Häufigkeit der Windstillen. In der Rhein-Main-Ebene sind Windstillen gegenüber den Kammlagen des Taunus zehnmal häufiger.

5.3.1.3.2. Zeitraum Juli 1971 bis Juni 1972

Zum Unterschied zu dem 10jährigen Zeitraum 1951 bis 1960 zeigt Abb. 44 die Windrichtungsverteilung des Untersuchungszeitraumes Juli 1971 bis Juni 1972. Die wesentlichen Merkmale der für das Rhein-Main-Becken gültigen Windverteilungen sind wiederum die beiden Vorzugsrichtungen SW und NE. In dem einjährigen Zeitraum 1971/72 wehen die Winde jedoch häufiger sowohl aus SW als auch aus NE, dagegen sind Winde aus N (Frankfurt-Stadt) und aus S und W (Frankfurt-Flughafen) weniger häufig als es dem langjährigen Mittel entspricht.

Der jahreszeitliche Gang der Richtungsverteilung ist neben der Reliefabhängigkeit wiederum eine Folge

more ring-shaped currents at the Kl. Feldberg consist primarily of W and NW as well as SW and E winds.

The frequency distribution of the wind direction during the various seasons, shown in fig. 43, can therefore be attributed first to the orography and secondly to the annual development of the major weather conditions.

The important aspect is therefore the orientation of the Taunus whose ridge runs from WSW to ENE. Winds from western and southern directions in the upper Rhein valley are thus diverted to SW winds. Winds from the north become NE winds.

As for the main forms of circulation it was found that the spring circulation is primarily meridional (NS and SN currents) caused by the numerous E, NE and N winds. Accordingly, NE winds have been measured at the stations (fig. 43, spring) most often in the spring. In the summer SW winds become more frequent as the circulation changes into zonal circulation (western currents). The autumn meridionalization causes only a secondary maximum of NE winds because south winds are especially frequent at that time. Together with western currents they are the reason why SW winds predominate.

In the winter, due to the change into zonal circulation (west winds) and the connected increase of western currents, NE winds become less frequent so that a SW maximum is noted again in winter.

Average wind velocities show that west winds are the strongest.

Since the wind velocity is heavily influenced by the relief, both the mountains surrounding the Rhein-Main area and the density of buildings have an impact on the wind velocity. This is shown in particular by the frequency of calm windless weather. In the Rhein-Main plain calm weather is ten times as frequent as on the Taunus ridges.

5.3.1.3.2. Period July 1971 – June 1972

In comparison to the 10-year period from 1951 to 1960 fig. 44 shows the distribution of the wind direction during the survey period from July 1971 – June 1972. The essential features of the wind distribution in the Rhein-Main basin were again the predominant SW and NE directions. However, during the one-year period of 1971/72 winds were blowing more often from SW and NE while N winds (Frankfurt city) and S and W winds (Frankfurt airport) were less frequent than usual in the long-term average.

The seasonal development of the directions again depended on the reliefs and was the consequence of

Häufigkeitsverteilung der Windrichtung (%) und mittlere Windgeschwindigkeit (m/sec) (Zeitraum: 1951–60), C in % (Windstille)

Abb. 43
Fig. 43

Frequency distributions of wind direction (%) and mean wind velocities (m/sec) (period: 1951–60), C in % (calm)

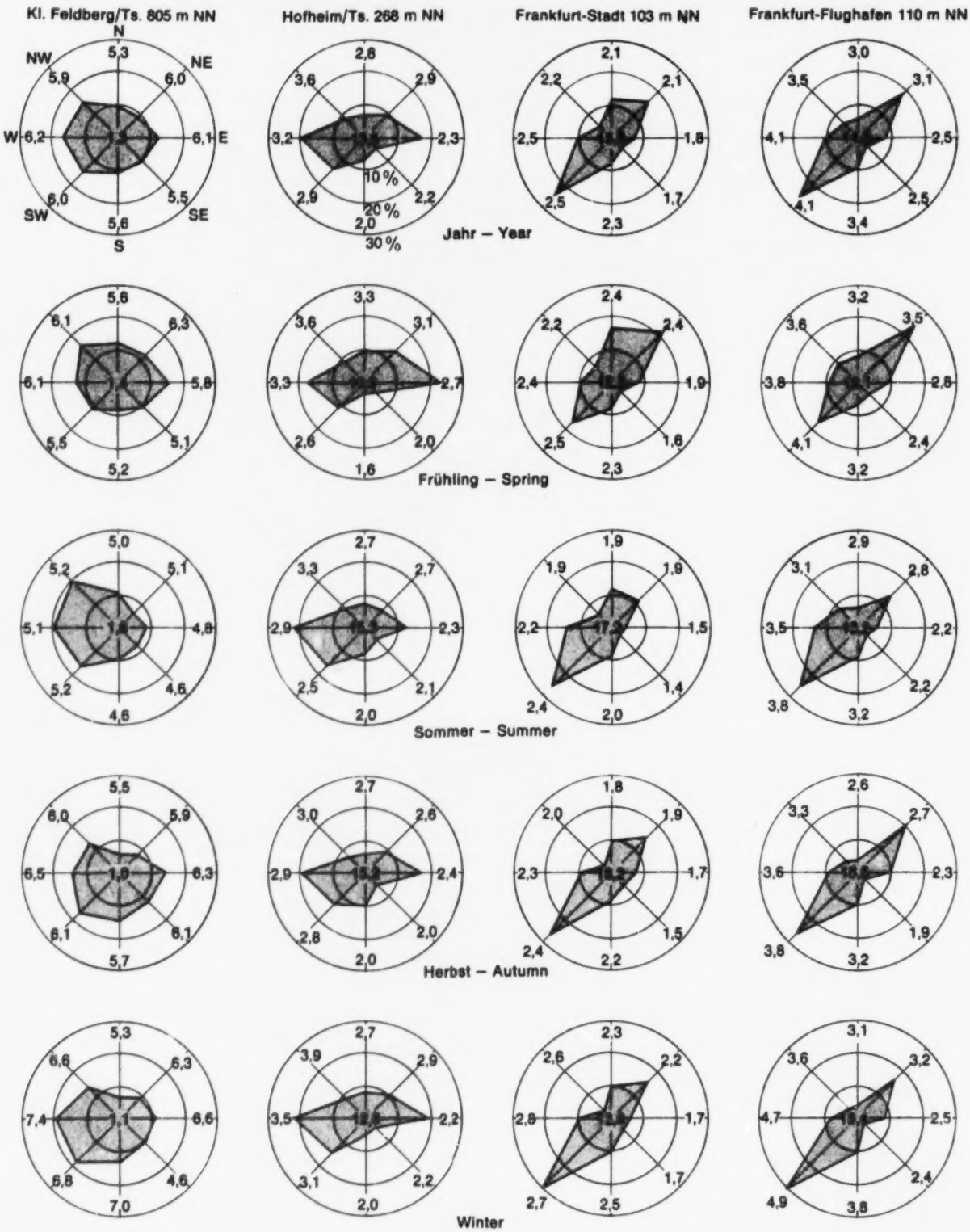
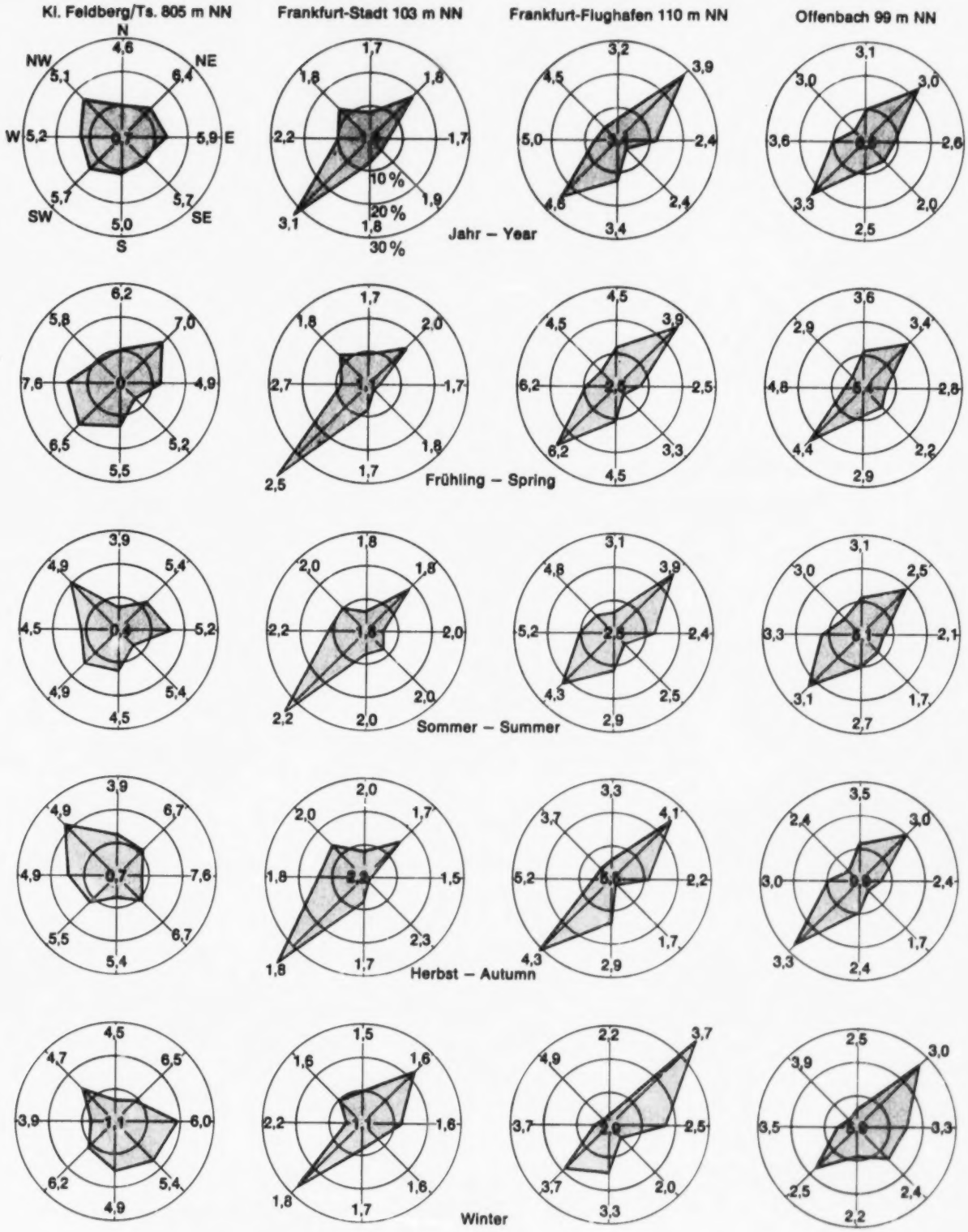


Abb. 44 **Häufigkeitsverteilung der Windrichtung (%) und mittlere Windgeschwindigkeiten (m/sec) (Zeitraum Juli 1971—Juni 1972), C in % (Windstille)**
Fig. 44 **Frequency distribution of wind direction and of mean wind velocities (period July 1971—June 1972), C in % (calm)**



des Auftretens bestimmter Großwetterlagen im Untersuchungszeitraum. Im Frühling des kurzen Zeitraumes sind sowohl die W- als auch die E-Lagen jeweils ca. 15 Prozent häufiger als normal (Abb. 42).

Im Sommer und Herbst zeigen die Windrichtungsverteilungen der Talstationen annähernd das gleiche Bild, während im Winter durch die übernormale Häufigkeit der Ostlagen Winde aus dem NE-Sektor am häufigsten auftreten.

Hervorzuheben ist bezüglich der Windgeschwindigkeit, daß in der Rhein-Main-Ebene die Winde aus westlichen Richtungen die stärksten sind, solche aus östlichen Richtungen im allgemeinen am schwächsten. Im Jahr 1971/72 waren dagegen an der Bergstation Kleiner Feldberg die Winde aus dem Ost-Sektor im Mittel stärker als diejenigen aus dem West-Sektor, das Frühjahr ausgenommen. Im langjährigen Zeitraum (1951 bis 1960) ist es dagegen genau umgekehrt. Die Ursache liegt in der weit übernormalen Häufigkeit der Ostlagen im Frühjahr und Winter des Untersuchungszeitraumes 1971/72 (Abb. 42).

Zusammenfassend sei festgehalten:

1. Bei Stationen in Randgebieten einer Stadt hängt die Verteilung der Windrichtung auch von der Lage der Station zum Stadtzentrum ab.

2. Der überregionale Witterungscharakter bewirkt die Häufigkeit der SW-Winde, so daß hier im Frankfurter Raum die großräumigen, gradientbedingten Winde aus südwestlichen Richtungen überwiegen.

3. Winde aus dem NE-Sektor bewirken ein zweites Maximum. Die Abweichungen der Richtungshäufigkeiten in Abhängigkeit von der Lage der Stationen zum Stadtzentrum sind nicht auf den synoptisch vorherrschenden Witterungscharakter (Westwetter) zurückzuführen, sondern lokalklimatisch bedingt (1).

Die Kenntnis solcher kleinräumigen und lokalklimatischen Vorgänge bildet die Grundlage für Fragen der Ausbreitung luftfremder und eventuell schädigender Beimengungen vor allem in der Biosphäre, der Schicht vom Boden bis etwa 100 m über Grund.

Das im Jahre 1971 errichtete Sondermeßnetz in der Region Untermain erlaubt wegen seiner vielen Meßstationen auf einem relativ kleinen Raum – verglichen mit der Dichte der klimatologischen und synoptischen Stationen des Deutschen Wetterdienstes – eine gezielte Untersuchung solcher lokalklimatischer Vorgänge.

5.3.2. Ergebnisse des Sondermeßnetzes (Temporäres Meßnetz)

5.3.2.1. Temperatur und relative Feuchte

In diesem Kapitel werden anhand der Auswertungen von Registrierungen der Temperatur und relativen Feuchte von rund 50 Stationen das durch die orogra-

certain major weather conditions during the survey period. During the spring of the short period both the W and E currents were about 15% more frequent than normal (fig. 42).

In the summer and autumn the distribution of the wind direction at the stations in the plain was approximately the same while in winter, because of the above-normal frequency of eastern currents, winds from the NE sector occured most frequent.

In regard of the wind velocity it has to be emphasized that in the Rhein-Main plain winds from western directions are the strongest, those from eastern directions in general the weakest. In 1971/72, however, winds at the Kl. Feldberg station blowing from the east sector were in the average stronger than those from the west sector, except in the spring. During the long-term period (1951–60), on the other hand, the situation was just the opposite. This was due to the frequency of eastern currents during the spring and winter of the survey period of 1971/72 (fig. 42) which was far above average.

The following can be said in conclusion:

1. By stations at the random of one town the distribution of the wind depends also on the location of the station to the city.

2. The supraregional character of the weather causes the frequency of SW winds so that in the Frankfurt region long-range winds, dependent on gradients, and from SW directions are predominating.

3. Winds from the NE sector are second. The fact that the frequency of the wind direction changes depending on the distance of the stations from the city center is not attributable of the synoptically predominant weather character (western weather), but to the local climate (1).

The knowledge of these local climatic processes serves as a basis for questions concerning the diffusion of alien and possibly damaging admixtures, especially in the biosphere, i. e. the stratum up to about 1,000 m above the ground.

The special network in the Untermain region established in 1971 with its many measuring stations in a relatively small area – compared with the density of climatological and synoptic stations of the German Weather Service – permits a special survey of such local climatic processes.

5.3.2. Results of the special measuring net (temporary measuring net)

5.3.2.1. Temperature and relative humidity

This chapter describes, on the basis of the evaluation of temperature registrations and relative humidity measurements at about 50 stations, the climate in a

phische Lage bedingte Kleinklima dargestellt. Wie bereits in Kapitel 5.3.1.2 bei der Betrachtung der Ergebnisse des langjährig bestehenden klimatologischen Beobachtungsnetzes gezeigt, läßt sich anhand der Temperatur- und Feuchteverhältnisse im Untersuchungsgebiet der Region Untermain eine bestimmte Einteilung vermuten.

Um die im Rhein-Main-Gebiet auftretenden Extreme herauszuarbeiten, wurden zwei unterschiedliche Großwetterlagen herausgegriffen, und der mittlere Tagesgang von Temperatur und relativer Feuchte untersucht.

Es handelt sich dabei einmal um eine Hochdruckwetterlage, klassifiziert als „Hoch über Mitteleuropa (HM)" und eine Wetterlage, klassifiziert als „Zyklonale Westlage (Wz)".

Wie aus der Höhenströmung (850 mb) (s. Abb. 45 und Abb. 46) zu ersehen ist, zieht während der jeweiligen Untersuchungsperiode im ersten Fall ein Hochdruckgebiet von West nach Ost und im zweiten Fall ein Tiefdruckgebiet ebenfalls von West nach Ost am nördlichen Rand des Untersuchungsgebietes vorbei.

In den Karten 20 und 21 sind die mittleren Tagesgänge (stündliche Auswertungen) dieser beiden Großwettertypen dargestellt, indem zunächst der mittlere Tagesgang von Temperatur und Feuchte aller 50 Meßstationen als positive und negative Abweichung vom Mittelwert aller Stationen berechnet wurde (gestrichelte Kurven); und dann die mittleren Tagesgänge der beiden meteorologischen Parameter für die einzelnen Stationen farbig eingetragen wurden. Die Unterschiede liegen auf der Hand: während der Hochdruckwetterlage mit nahezu wolkenlosem Himmel können Ein- und Ausstrahlung sehr wirksam sein (und damit auch die orographischen Einflüsse) und ergeben eine große Amplitude (Differenz zwischen tiefstem und höchstem Wert von Temperatur und relativer Feuchte). Die Temperaturamplitude erreicht häufig Werte über 10° C und die Feuchteamplitude Werte über 50 Prozent. Während der zyklonalen Westlage dagegen mit bedecktem Himmel bleibt die Amplitude klein (ca. 1° C bei der Temperatur und ca. 10 Prozent bei der relativen Feuchte), die orographischen Einflüsse werden gegenüber den advehierten Einflüssen völlig unterdrückt. Sowohl zeitlich als auch räumlich zeigen sich keine großen Unterschiede.

Zur Untersuchung der orographischen Einflüsse ist daher nur die Betrachtung der meteorologischen Parameter während der Hochdruckwetterlage von Interesse. Zur Verdeutlichung sind in Abb. 47 die Temperaturtagesgänge zweier dicht beieinander liegender Stationen mit unterschiedlichen Einflüssen während der Hochdruckwetterlage gegenübergestellt.

Die ersten drei Paare an Stationen (Hanau-Hafen (7031) und Hanau - B 40 (7025), Seligenstadt (7046) und Offenbach-Bieber (7040), Bergen-Enkheim (7021) und Wachenbuchen (7015)) können als Beispiele für den Gegensatz zwischen bebautem und freiem Gelände gelten. Die in Klammern gesetzten Zahlen geben die jeweilige Stationskennziffer an. Durchweg

limited area depending on the orographic situation. As already shown in chapter 5.3.1.2. in a review of the results from the climatological observation network, which has existed for many years, a certain pattern can be assumed in the survey area of the Untermain region on the basis of temperature and humidity conditions.

In order to identify the extreme conditions occurring in the Rhein-Main area two different major weather conditions have been selected and the average daily development of the temperature and relative humidity been examined.

These are on the one hand a high-pressure weather situation, classified as "high pressure over Central Europe" and, on the other hand, a weather classified as "cyclonic west current"

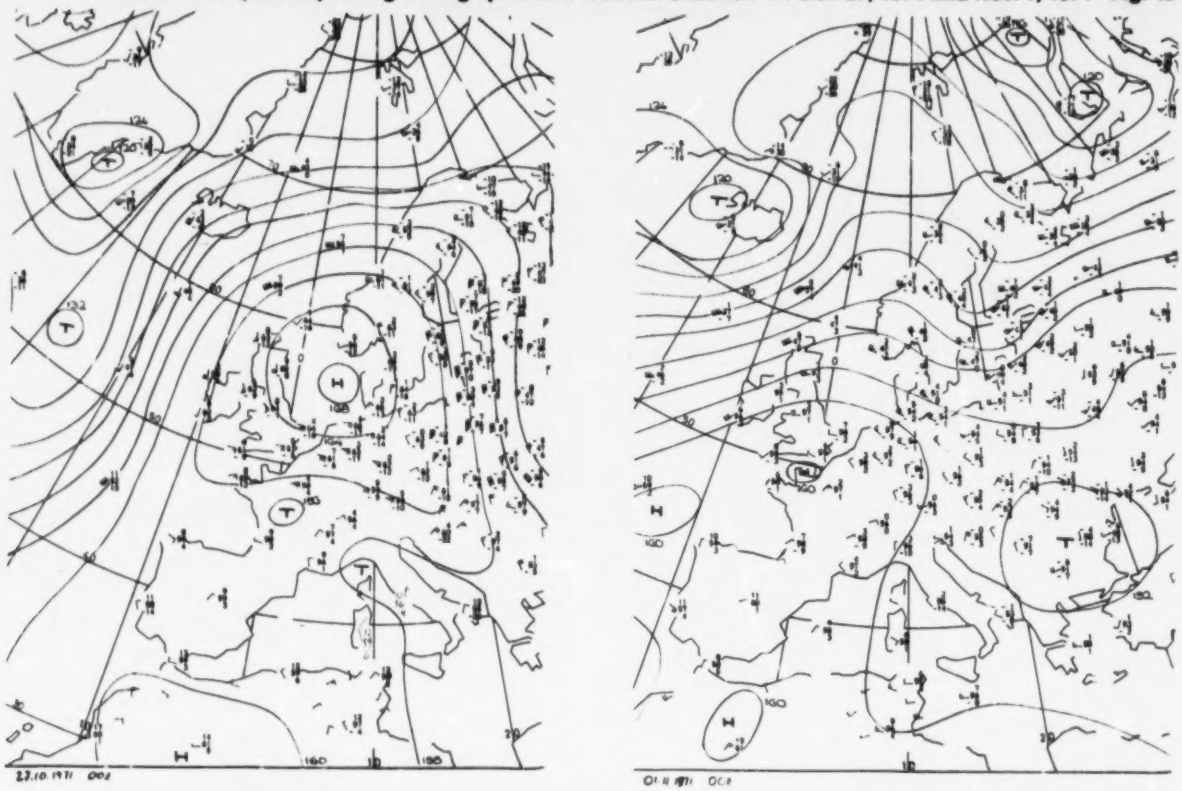
The high-altitude current (850 mb) (see fig. 45 and 46) shows that during each survey period a high pressure current (1st case) and a low pressure current (2nd case) pass from west to east at the northern edge of the survey area.

Map 20 and 21 represent the average daily development (evaluation every hour) of these two types of major weather: the average daily development of the temperature and humidity measured at all the 50 stations was calculated first as positive and negative deviation from the average value of all stations (dotted curves); then the average daily development of the two meteorological parameters was inserted in colour for each station. The difference is obvious: during high pressure weather conditions with almost cloudless skies irradiation and radiation (and thus also the orographic influence) can be very effective and of great amplitude (difference between the lowest and the highest temperature and relative humidity). The temperature amplitude often reaches differences of more than 10° C and the humidity amplitude is often more than 50%. During cyclonic west currents with overcast skies, on the other hand the amplitude remains low (about 1° C for temperature and about 10% for relative humidity), orographic influences are completely suppressed compared with the advehent influences. There are no great differences with respect to time or space.

Therefore only the observation of meteorological parameters during the high-pressure situation is of interest for the survey of orographic influences. To make this clear fig. 47 compares the daily temperature development at two stations close to each other but subject to different influences during high pressure weather conditions.

The first three pairs of stations (Hanau port (7031) and and Hanau-B 40 (7025), Seligenstadt (7046) and Offenbach-Bieber (7040), Bergen-Enkheim (7021) and Wachenbuchen (7015)) can be regarded as examples for the contrast between built-up and open areas. The numbers in brackets are the station index numbers. All stations in built-up areas show higher average tem-

Höhenströmung (850 mb) während der Hochdruckwetterlage am 27. 10. 1971 und 1. 11. 1971 Abb. 45
Gradient wind (850 mb) during the high pressure weather situation on Oct. 27, 1971 and Nov. 1, 1971 Fig. 45



Höhenströmung (850 mb) während der zyklonalen Westlage am 13. 11. 1971 und 18. 11. 1971 Abb. 46
Gradient wind (850 mb) during the cyclonic westerly flow on Nov. 13, 1971 and Nov. 18, 1971 Fig. 46

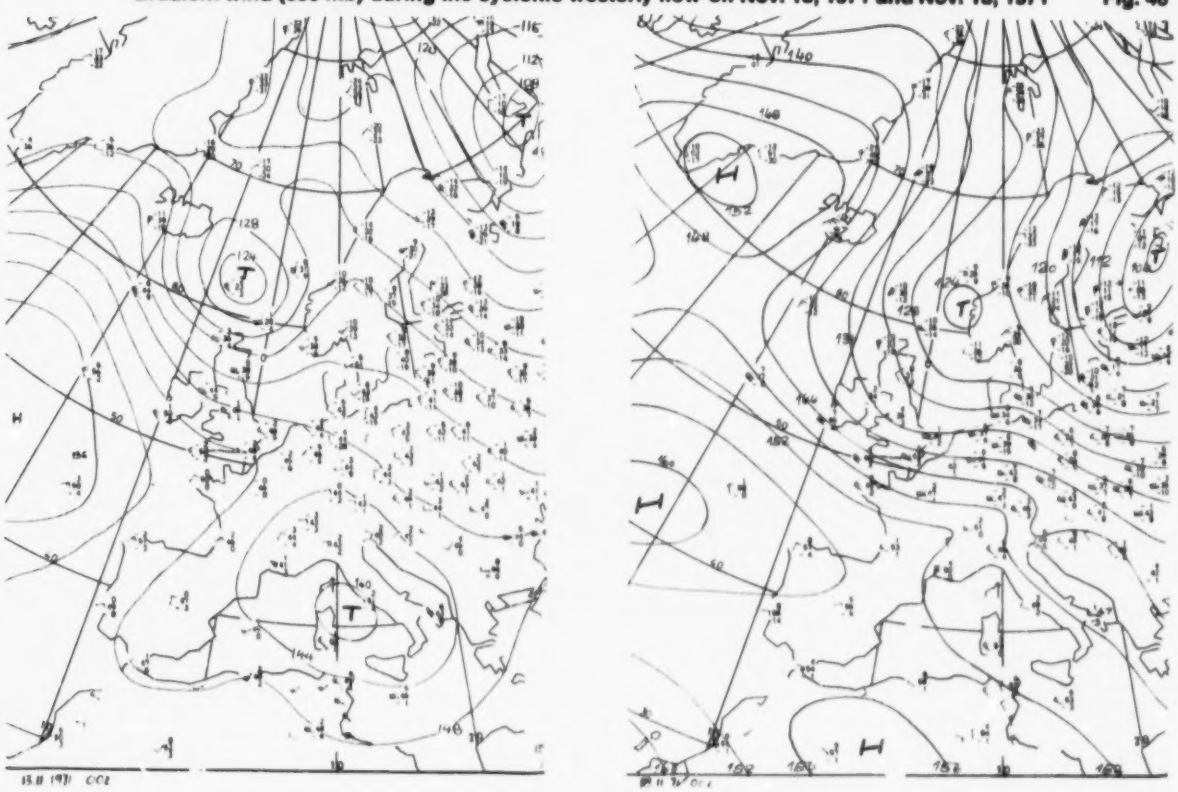
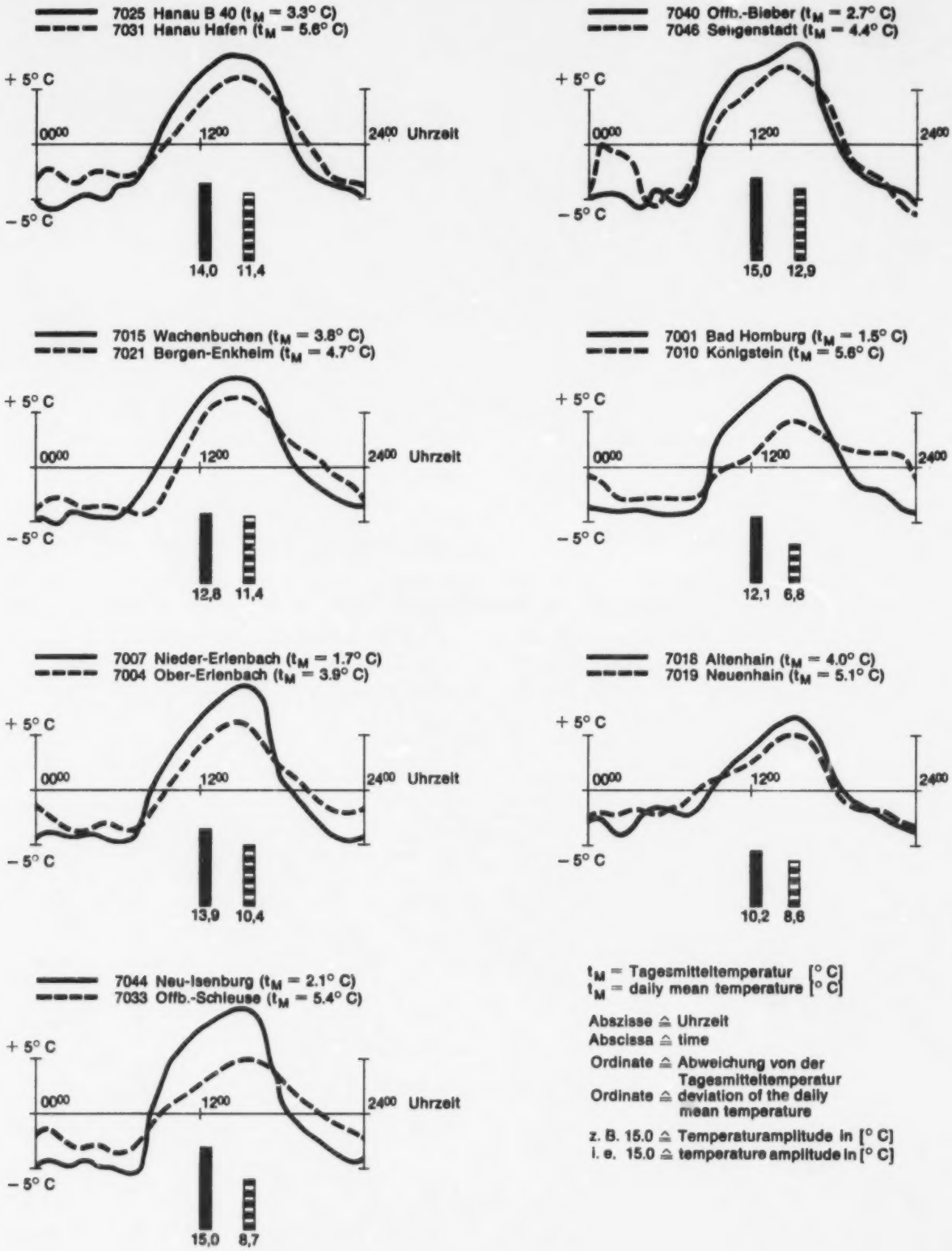
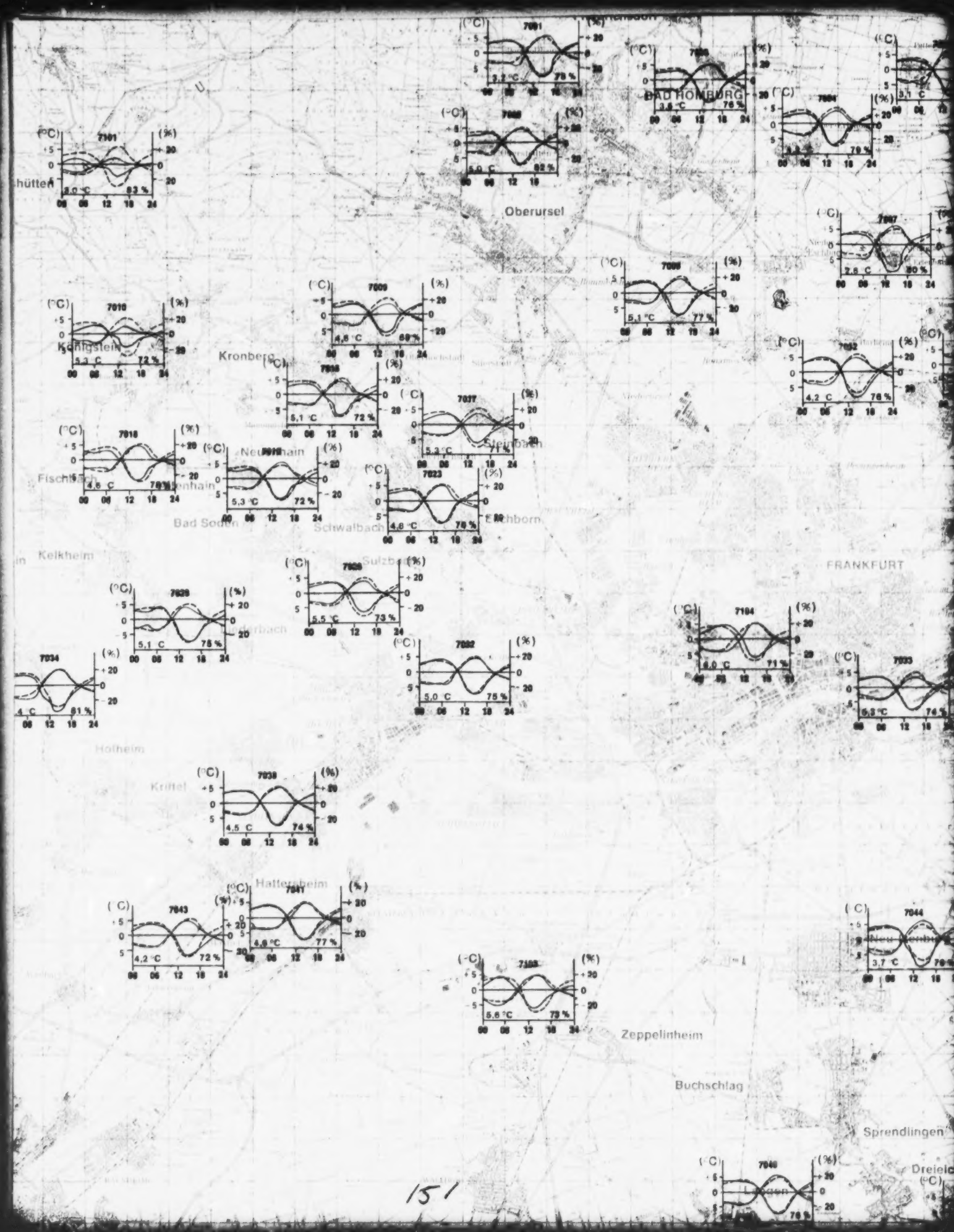


Abb. 47 Temperaturtagesgang und Temperaturamplitude während der Hochdruckwetterlage (29. 10. 1971)
Fig. 47 Diurnal variation of temperature and temperature amplitude during the high pressure weather situation (Oct. 29, 1971)




7001
3,2 °C
78 %
7002
3,6 °C
76 %
7003
3,1 °C
7004
5,0 °C
82 %
7005
3,3 °C
76 %
7006
5,1 °C
77 %
7007
7,8 °C
80 %
7008
4,8 °C
69 %
7009
5,1 °C
72 %
7010
5,3 °C
72 %
7011
4,8 °C
78 %
7012
4,2 °C
76 %
7013
5,3 °C
72 %
7014
5,5 °C
73 %
7015
5,0 °C
75 %
7016
4,8 °C
79 %
7017
5,3 °C
71 %
7018
5,3 °C
72 %
7019
4,8 °C
76 %
7020
5,1 °C
75 %
7021
4,5 °C
74 %
7022
5,0 °C
75 %
7023
4,8 °C
76 %
7024
4,2 °C
72 %
7025
4,6 °C
77 %
7026
5,6 °C
73 %
7027
3,7 °C
76 %
7028
4,6 °C
76 %
7029
6,0 °C
71 %
7030
5,3 °C
74 %
7031
4 °C
81 %
7032
5,0 °C
75 %
7033
5,3 °C
74 %
7034
4 °C
81 %
7035
5,1 °C
75 %
7036
4,5 °C
74 %
7037
4,2 °C
72 %
7038
4,6 °C
77 %
7039
5,6 °C
73 %
7040
7041
7042
7043
7044
3,7 °C
76 %
7045
7046
Oberursel
BAD HOMBURG
Kronberg
Königstein
Neuenhain
Bad Soden
Schwalbach
Eschborn
Kelkheim
Sulzbach
FRANKFURT
Hofheim
Kriftel
Hattersheim
Zeppelinheim
Buchschlag
Sprendlingen

151

Mittlerer Tagesgang von Temperatur und relativer Feuchte während einer Hochdruckwetterlage (27. 10. 71 – 1. 11. 71)
Mean diurnal variation of temperature und relative humidity during a high pressure weather situation (27. 10. 71 – 1. 11. 71)

Karte
Map 2

---------- mittlerer Tagesgang von Temperatur und relativer Feuchte aller Stationen
mean diurnal variation of temperature and relative humidity of all stations

——— mittlerer Tagesgang der Temperatur einer Station
mean diurnal variation of temperature of one station

——— mittlerer Tagesgang der relativen Feuchte einer Station
mean diurnal variation of relative humidity of one station

Abszisse = Uhrzeit
abscissa = time

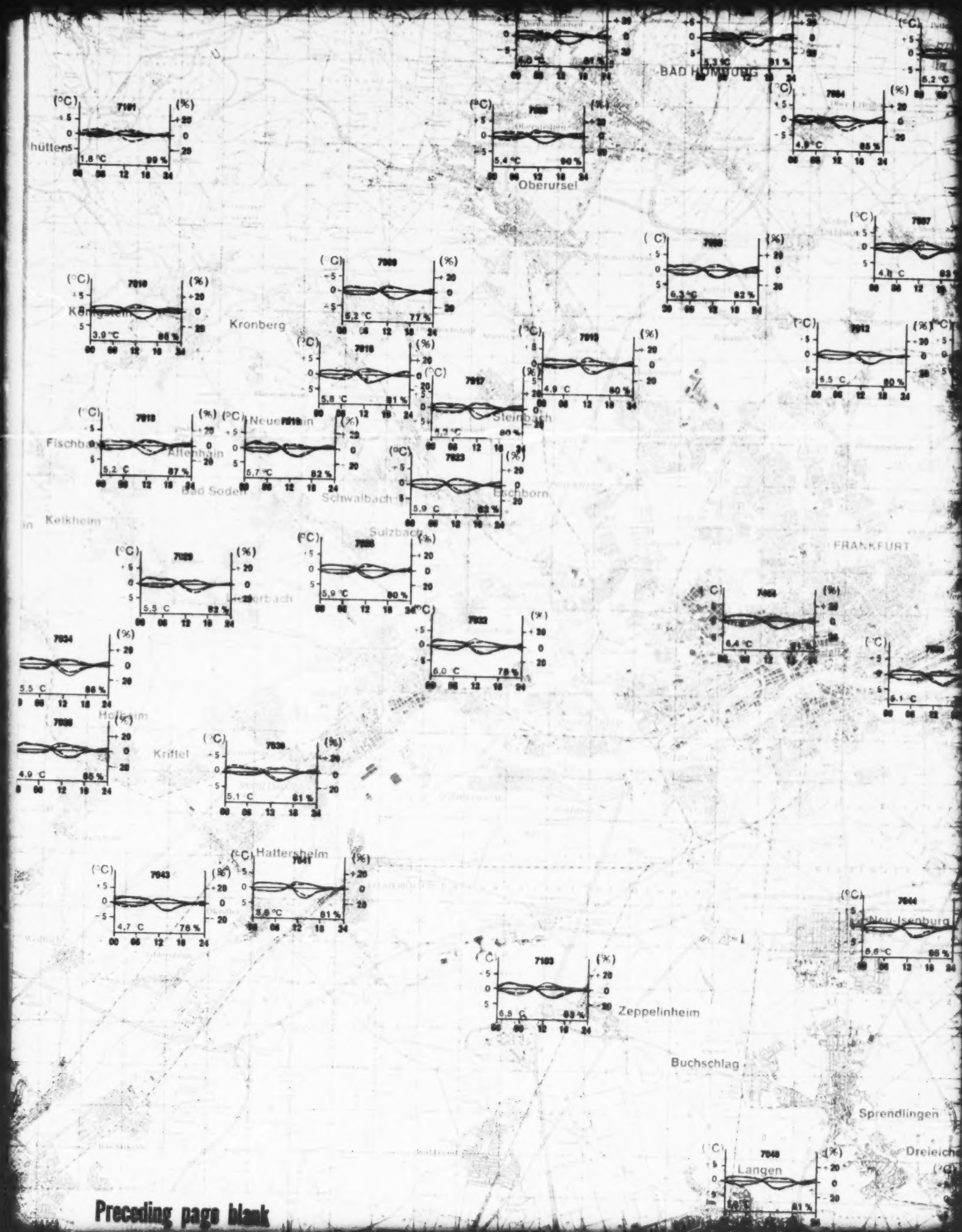
2,4 °C Mittelwert der Temperatur während der Episode (HM)
mean value of temperature during episode (HM)

75 % 75 % Mittelwert der relativen Feuchte während der Episode (HM)
75 % mean value of relative humidity during episode (HM)

Ordinate = Abweichung vom Mittelwert der Temperatur bzw. relativen Feuchte
ordinate = deviation of mean value of temperature respectively relative humidity

Karben
Klein Karben
Nie
Bad Vilbel
Wachenbuchen
Erlensee
Hochstadt
Dornigheim
Bischofsheim
Enkheim
FRANKFURT
Mühlheim
OFFENBACH
Steinheim
Großauheim
Lämmerspiel
Klein-Auheim
Hausen
Krotzenburg
Froschhausen
Weiskirchen
Seligenstadt
Hainhausen
Jügesheim
Sprendlingen
Dietzenbach
Dreieichenhain
Dudenhofen
Nieder-Roden

Maßstab 1 : 100 000



Preceding page blank

Mittlerer Tagesgang von Temperatur und relativer Feuchte während einer zyklonalen Westlage (13. 11. 71 – 18. 11. 71)
Mean diurnal variation of temperature und relative humidity during a cyclonic westerly flow (13. 11. 71 – 18. 11. 71)

---------- mittlerer Tagesgang von Temperatur und relativer Feuchte aller Stationen
mean diurnal variation of temperature and relative humidity of all stations

——— mittlerer Tagesgang der Temperatur einer Station
mean diurnal variation of temperature of one station

——— mittlerer Tagesgang der relativen Feuchte einer Station
mean diurnal variation of relative humidity of one station

4,7 °C Mittelwert der Temperatur während der Episode (Wz)
mean value of temperature during episode (Wz)

81 % Mittelwert der relativen Feuchte während der Episode (Wz)
mean value of relative humidity during episode (Wz)

Karben
Bad Vilbel
Bergen-Enkheim
FRANKFURT
OFFENBACH
Hausen
Lämmerspiel
Klein-Auheim
Hainstadt
Großkrotzenburg
Klein-Krotzenburg
Froschhausen
Seligenstadt
Steinheim
Großauheim
Hochstadt
Dornigheim
Mühlheim
Weiskirchen
Hainhausen
Jügesheim
Dudenhofen
Nieder-Roden
Sprendlingen
Dreieichenhain
Dietzenbach
Heusenstamm
Rembrücken
Ober-Roden
Ensheim

Maßstab 1 : 100 000

weist die Station in bebautem Gebiet höhere Mitteltemperaturen und eine geringere Differenz zwischen maximaler und minimaler Temperatur auf.

Beispiel 4 und 5 gibt den Unterschied zwischen einer höher gelegenen (Königstein (7010) bzw. Ober-Erlenbach (7004)) und einer tiefer gelegenen Station (Bad Homburg (7001) zw. Nieder-Erlenbach (7007)) im Vortaunusgebiet an. Die höher gelegene Station hat eine kleine Tagesamplitude und eine höhere Mitteltemperatur als die niedriger gelegene Station.

Beispiel 6 zeigt den Unterschied zweier Stationen im gleichen Talzug, einmal an einer sehr engen Stelle (Altenhain (7018)) mit schwacher Luftbewegung und an einer weiteren Stelle (Neuenhain (7019)) mit kräftigerer Luftbewegung. Im ersten Fall ist die Ausstrahlung wirksamer und verursacht damit eine tiefere Mitteltemperatur und eine größere Amplitude als im zweiten Fall.

Im Beispiel 7 ist eine direkt am Main gelegene Station (Offenbach-Schleuse (7033)) einer Station im freien Gelände (Neu-Isenburg (7044)) gegenübergestellt. Die Flußstation hat aufgrund der Wärmespeicherung des Flusses in der Nacht eine höhere Mitteltemperatur sowie eine geringere Tagesamplitude als die Station im freien Gelände.

Die an einigen Stationen zu beobachtenden Temperaturerhöhungen während der Nachtstunden sind meist mit Richtungsänderungen des Windes verbunden, was darauf hinweist, daß Luftpakete mit anderen Eigenschaften an den Meßort herantransportiert werden und diese Erhöhungen verursachen.

Zusammenfassung:

Es lassen sich aufgrund der während der Hochdruckwetterlage gewonnenen Ergebnisse vier verschiedene Einflüsse erkennen:

1. Bebautes Gebiet, insbesondere Frankfurt a. M. und Hanau, mit hoher Tagesmitteltemperatur, geringer Luftfeuchte und geringer Amplitude, zurückzuführen auf die länger anhaltende Wärmespeicherung des Stadtgebietes in der Nacht.
2. Freies Gelände im Süden und Nordosten des Maintales mit tiefen Temperaturen und hohen relativen Luftfeuchten und großer Amplitude, wegen der wirksamen Ausstrahlung in der Nacht.
3. Orographisch gegliedertes Gelände im Vortaunusgebiet, das vom Niddatal zum Taunus hin ansteigt. Je höher die Stationen liegen, desto höher ist die Tagesmitteltemperatur und um so kleiner die Tagesamplitude von Temperatur und rel. Feuchte. Dies ist auf die Ausbildung einer Kaltluftschicht in den Tälern und einer darüberliegenden Inversion (Temperaturzunahme mit der Höhe) zurückzuführen.
4. Flußnähe, direkt am Main, mit hohen Temperaturen, hohen Luftfeuchten und geringer Amplitude wegen der Wärme- und Feuchtigkeitsspeicherung des Flusses in der Nacht.

peratures and a smaller difference between maximum and minimum temperatures.

Examples 4 and 5 show the difference between a station at a higher altitude (Königstein (7010) or Ober-Erlenbach (7004)) and on at a lower altitude (Bad Homburg (7001) oder Nieder-Erlenbach (7007)) in the lower Taunus region. At the station at a higher altitude there is a low daily amplitude and a higher average temperature than at the lower station.

Example 6 shows the difference between two stations in the same valley, one at a very narrow spot (Altenhain (7018)) with the little air movements and one in a location (Neuenhain (7019)) with strong air movements. In the first case radiation is more effective and thus causes a lower average temperature and a higher amplitude than in the second case.

Example 7 compares a station located at the river Main (Offenbach-sluise (7033)) with a station in an open area (Neu-Isenburg (7044)). Due to the accumulation of heat by the river at night; the river station has a higher average temperature and a lower daily amplitude than the station in an open area.

The rise in temperature during night hours, observed at some stations, is mostly due to changes of the wind direction, and this indicates that air packages with different characteristics approach the measuring station and cause these rises in temperature.

Summary:

Four different influences are apparent from the results obtained during high pressure weather:

1. Built-up areas, especially Frankfurt and Hanau, with high average daily temperatures, little humidity and minor amplitude, due to the prolonged heat accumulation in the city at night.
2. Open areas in the south and north-east of the Main valley with low temperatures, high relative humidity and major amplitude, because of the effective radiation at night.
3. Orographically divided areas in the lower Taunus region rising from the Nidda valley towards the Taunus. The higher the station is located the higher the average daily temperature and the lower the daily amplitude of temperature and relative humidity. This is due to the formation of a cold air stratum in the valley and a super-imposed inversion (rise of temperature with increasing altitude).
4. Vicinity of a river, directly at the river Main, with high temperatures, high humidity and minor amplitude because of the heat and humidity accumulation by the river at night.

Preceding page blank

5.3.2.2. Wind

5.3.2.2.1. Windverhältnisse während ausgewählter Wetterlagen

Zur Beschreibung des Windfeldes im Untersuchungsgebiet der Region Untermain ist ebenfalls die Heranziehung extremer Wetterlagen besonders geeignet, um die verschiedenen Zirkulationssysteme zu veranschaulichen. Daher wurden die gleichen Episoden wie in Kap. 5.3.2.1 – also eine Hochdruckwetterlage und eine zyklonale Westlage – untersucht.

In den Karten 22 und 23 sind die Häufigkeitsverteilungen von Windrichtung und -geschwindigkeit (letztere in Stufen von 2 m/sec eingeteilt) während der beiden Wetterlagen von allen Stationen des Sondermeßnetzes aufgezeichnet, wobei die Gesamtzahl der beobachteten Fälle sowohl während der Dauer der Hochdruckwetterlage als auch während der zyklonalen Westlage 100 Prozent gesetzt wurde. Außerdem wurden jeweils die Immissionskonzentrationen der Meßstellen des Institutes für Meteorologie und Geophysik der Universität Frankfurt während der beiden Wetterlagen angegeben.

Mit wenigen Ausnahmen zeigt sich während der zyklonalen Westlage eine Anhäufung der untersuchten Fälle bei südwestlichen Windrichtungen in der Ebene. Je höher die untersuchten Stationen liegen, desto mehr gleicht sich die Windverteilung der durch den Kleinen Feldberg in 805 m über NN als gegeben angenommenen Höhenströmung aus nordwestlichen Richtungen an. Dies ist zum einen eine Wirkung der Reibung, die das bekannte Rückdrehen des Windes (also entgegen dem Uhrzeiger) von der Höhe zur Erdoberfläche ergibt, zum anderen wird dies verursacht durch die Leitwirkung des in Westsüdwest-Ostnordost-Richtung verlaufenden Taunuskammes. Die Immissionskonzentrationen sind während der zyklonalen Westlage niedrig, während der Hochdruckwetterlage relativ hoch. Die mittlere Windgeschwindigkeit während beider Episoden wurde mit ca. 6,5 m/sec am Kleinen Feldberg gemessen, mit dem Unterschied jedoch, daß während der zyklonalen Westlage der Wind meist aus nordwestlichen Richtungen, bei der Hochdruckwetterlage jedoch zu Beginn der Episode aus Nord (die Region lag östlich des Hochdruckkernes) und gegen Ende des Untersuchungszeitraumes aus Südost (die Region lag westlich des Hochdruckkernes) wehte.

Um die Zuordnung des Höhenwindes zum Bodenwind in der Ebene zu erhalten, wurde zunächst die Windrichtung der Station Kleiner Feldberg mit der Station Frankfurt-Flughafen Rhein-Main verglichen (siehe Abb. 48). Die häufig auftretenden südöstlichen Höhenwinde werden aufgrund der Reibung und der Leitwirkung des Taunus zu nordöstlichen und östlichen Winden in der Ebene. Ebenso werden nordöstliche und nördliche Höhenwinde in südwestliche Winde rückgedreht aus den gleichen Gründen wie bereits oben beschrieben.

In dieser Abbildung sind weiterhin einige Beispiele für die Zuordnung der Windrichtung an Frankfurt-Flughafen Rhein-Main und einigen anderen repräsentati-

5.3.2.2. Wind

5.3.2.2.1. Wind conditions during selected weather conditions

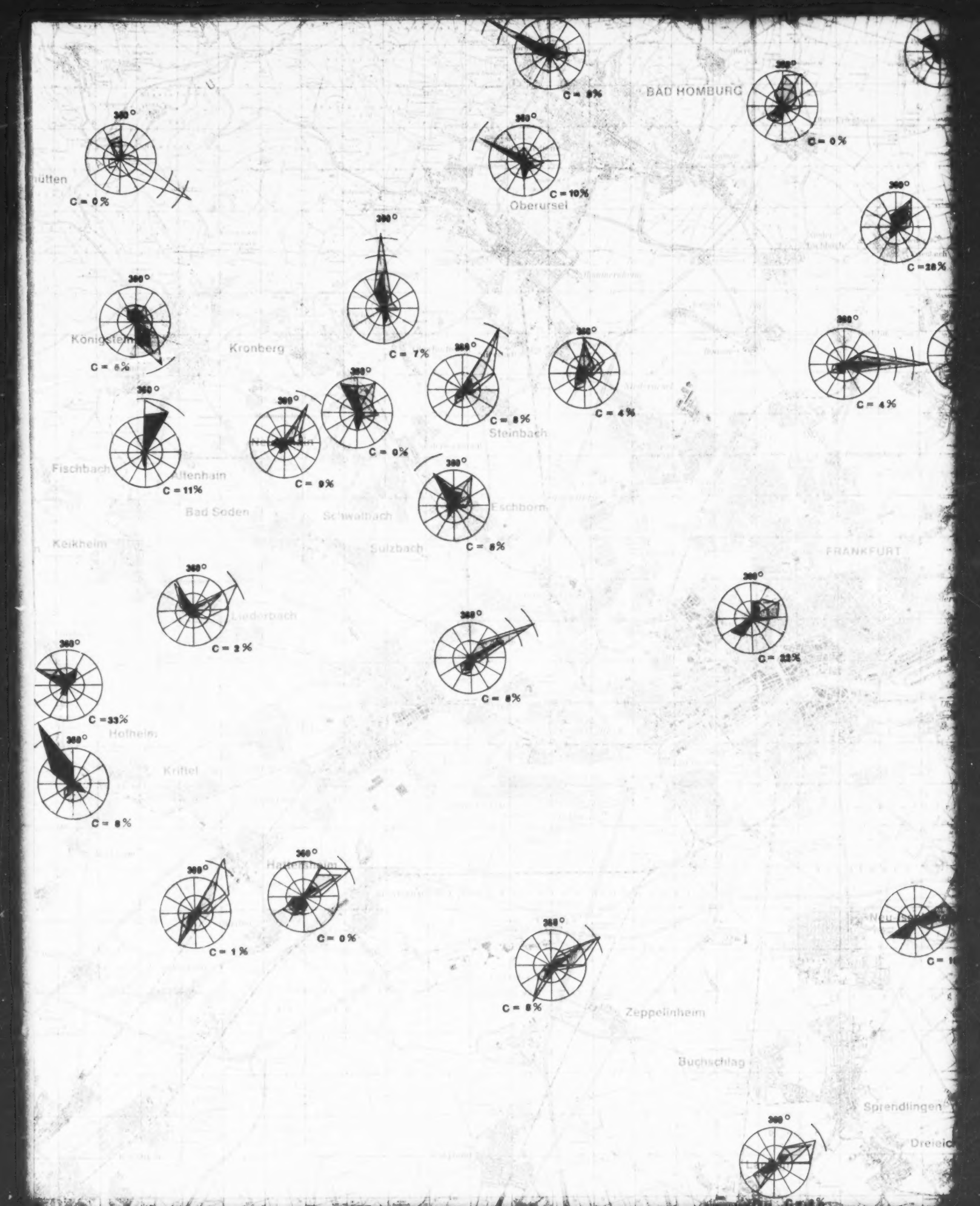
When describing the wind field in the survey area of the Untermain region the use of extreme weather conditions is also particularly suitable to illustrate the various circulation systems. Therefore, the same episodes as in chapter 5.3.2.1. – i. e. high pressure weather and a cyclonic west current – have been examined.

Maps 22 and 23 show the frequency distribution of the wind direction and velocity (the latter in stages of 2 m/sec.) during both weather conditions at all stations of the special measuring network; the index for the total number of observed cases both during the high pressure weather and the cyclonic west currents has been set at 100 %. Moreover, immission concentrations at the measuring points of the Institute for Meteorology and Geophysics of Frankfurt University are shown for both weather conditions.

During the cyclonic west currents the winds in the plain came from a SW direction in the majority of surveyed cases, with few exceptions. The higher the altitude of the survey stations the closer the wind distribution comes to the high-altitude currents from NW directions, which were assumed to prevail at the Kl. Feldberg at 805 m above NN. This is, on the one hand, the effect of the friction resulting from the well-known reverse turn of the wind (counter-clockwise) from the altitude towards the earth's surface, on the other hand, this is caused by the conducting effect of the Taunus ridge which runs in a WSW – ENE direction. Immission concentrations are low during the cyclonic west current and relatively high during high pressure weather. The average wind velocity during both episodes was 6.5 m/sec. at the Kl. Feldberg; the difference was that during the cyclonic west current the wind blew mostly from NW directions; during high pressure weather, however, at the beginning of the episode (the region was east of the high pressure center) from N and at the end of the survey period from SE (the region was west of the high pressure center).

In order to maintain the association between the high-altitude wind and the ground wind, the wind direction at the Kl. Feldberg station was compared with that at the Rhein-Main airport station (see fig. 48). The frequent SE high-altitude winds become NE and E winds in the plain due to the friction and the conducting effect of the Taunus. For the same reasons as described above, NE and N high-altitude winds are turning into SW winds.

This chart shows furthermore some examples for the association of the wind direction at Frankfurt's Rhein-Main airport and some other representative stations


C = 0%
BAD HOMBURG
C = 0%
C = 10%
Oberursel
C = 28%
C = 6%
Königstein
Kronberg
C = 7%
C = 8%
C = 4%
C = 4%
Steinbach
C = 0%
C = 9%
C = 11%
Fischbach
Bad Soden
Schwalbach
Eschborn
C = 8%
Sulzbach
FRANKFURT
C = 2%
C = 22%
C = 8%
C = 33%
Hofheim
C = 8%
C = 1%
C = 0%
C = 8%
Zeppelinheim
Buchschlag
Sprendlingen

Prozentuale Häufigkeitsverteilung von Windrichtung und -geschwindigkeit während einer Hochdruckwetterlage (27. 10. 71 – 1. 11. 71)

Percental frequency distribution of wind direction and -velocity during a high pressure weather situation (27. 10.71 – 1. 11. 71)

C — Windstillen und variable Winde (in %)
calms and variable winds (in %)

Windgeschwindigkeiten unter 2,0 m/s
wind velocities below 2.0 m/s

30°

Windgeschwindigkeiten
von 2,0 – 3,9 m/s
wind velocities of 2.0 – 3.9 m/s

Windgeschwindigkeiten ≥ 4,0 m/s
wind velocities ≥ 4.0 m/s

≙ 10 % Häufigkeit
≙ 10 % frequency

360°

C = 29 %

C = 0 %

C = 28 %

C = 3 %

C = 4 %

C = 23 %

C = 19 %

C = 31 %

C = 28 %

C = 5 %

C = 6 %

C = 7 %

C = 2 %

C = 22 %

C = 10 %

C = 14 %

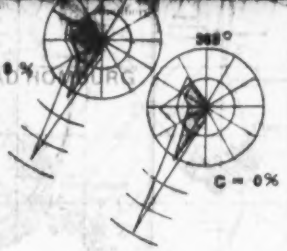
C = 19 %

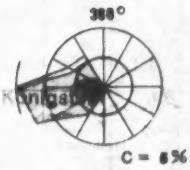
C = 8 %

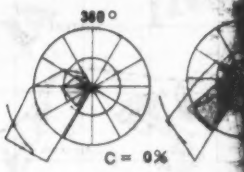
C = 3 %

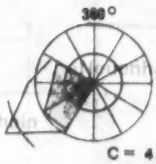
C = 7 %

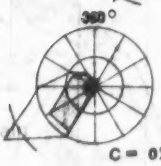
Maßstab 1 : 100 000

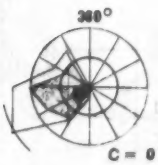


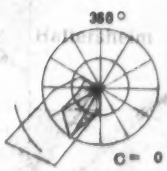


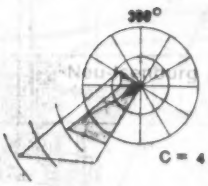












Preceding page blank

Karte 2
Map 23

Prozentuale Häufigkeitsverteilung von Windrichtung und -geschwindigkeit während einer zyklonalen Westlage (13. 11. 71 – 18. 11. 71)
Percental frequency distribution of wind direction and -velocity during a cyclonic westerly flow (13. 11. 71 – 18. 11. 71)

C Windstillen und variable Winde (in %)
calms and variable winds (in %)

Windgeschwindigkeiten unter 2,0 m/s
wind velocities below 2.0 m/s

30°

Windgeschwindigkeiten von 2,0 – 3,9 m/s
wind velocities of 2.0 – 3.9 m/s

Windgeschwindigkeiten ≥ 4,0 m/s
wind velocities ≥ 4.0 m/s

≙ 10 % Häufigkeit
≙ 10 % frequency

360°

C = 1%
C = 0%
C = 3%
C = 0%
C = 0%
C = 2%
C = 3%
C = 7%
C = 8%
C = 3%
C = 2%
C = 1%
C = 0%
C = 6%
C = 0%
C = 3%
C = 2%
C = 2%
C = 0%
C = 0%
C = 4%
C = 1%
C = 0%

Karben
Bischofsheim
Hochstadt
Dörnigheim
Mühlheim
Hausen
Klein-Auheim
Großauheim
Steinheim
Erlensee
Langenselbold
Gelnhausen
Krotzenburg
Obertshausen
Rembrücken
Weiskirchen
Froschhausen
Hainhausen
Jügesheim
Dudenhofen
Sprendlingen
Dreieichenhain
Nieder-Roden
Neuisenburg

155

Maßstab 1 : 100

Die Windrichtungsverteilungen von Ffm.-Flughafen im Vergleich zu einer Höhenstation und ausgewählten Stationen des Sondermeßnetzes während einer Hochdruckwetterlage

Distributions of wind direktion at Frankfurt airport in comparison with a higher located station and selected stations of the special measuring net during a high pressure weather situation

Abb. 48
Fig. 48

7101 Kl. Feldberg

7103 Ffm.-Flughafen	03	06	09	12	15	18	21	24	27	30	33	36	c
03		2	1	3	2								
06		2	6	22	6	1					1		
09			2	14	3	1							
12				3							1		
15											1	1	
18												2	
21	2							3	3		8	9	
24						1		1	1		1	4	
27											1	1	
30													
33													
36				1									
c				1		1	1	2	1		3		

7001 Bad Homburg

7103 Ffm.-Flughafen	03	06	09	12	15	18	21	24	27	30	33	36	c
03	1									5		2	
06	4	1	4	1					3	20	2	3	
09	1	2	7	2		1	1		1	6			
12			1	2						1			
15										2			
18										1			1
21			1	2		5				6	3		7
24		1				2				3	1	1	
27									1			1	1
30													
33													
36									1				
c				1			1			6			1

7018 Altenhain

	03	06	09	12	15	18	21	24	27	30	33	36	c
03	2											6	
06	16						3		1			17	1
09	5					1	1	1				4	9
12	2												2
15	1											1	
18	1											1	
21	3					8	1	1		3	3	5	
24					1	3		1	1			2	
27	1					1						1	
30													
33													
36	1												
c	3							1			1	4	

7048 Langen

	03	06	09	12	15	18	21	24	27	30	33	36	c
03	2	4	2										
06	5	24	5							3		1	
09	1	3	12	2	1					1			1
12			3			1							
15							2						
18							1	1					
21						1	14	7	1				1
24						1	1	5	1				
27						1	1	1					
30													
33													
36	1												
c	2						1	1	2	1			2

7046 Seligenstadt

	03	06	09	12	15	18	21	24	27	30	33	36	c
03		1	1	1	1	1		1		1	1		
06	2	3	9	5	3	4	1	1	5	2	1	2	
09		1	9	4	3		2	1	1				
12			1	2		1							
15						2							
18													2
21				1		11	3	2	1				4
24					1	3		2		1		1	
27						1		1					1
30													
33													
36			1										
c						3	2	1	2				1

7011 Bad Vilbel

	03	06	09	12	15	18	21	24	27	30	33	36	c
03	2		3		2					1			
06	4	4	10	7	7	1							5
09	1	2	13	1	2			1					1
12			2	1		1							
15								1					1
18	1												1
21		1	1	1	2	2	2	2	3	3		2	5
24					1			2		1		2	2
27						1	1		1				
30													
33													
36									1				
c	2		1		2		1	1					2

Preceding page blank

ven Stationen in der Region dargestellt. Ein Vergleich der Taunusstation Bad Homburg (7001) mit dem Flughafen Rhein-Main zeigt eine deutliche Hervorhebung der nordwestlichen Winde (Bergwinde bzw. Talabwinde). Während in Bad Homburg häufig Winde aus 300° wehen, kommen am Flugplatz Rhein-Main diese Winde gleichzeitig aus Richtungen zwischen 30° und 240°. Eine ähnliche Verteilung bringt ein Vergleich zwischen Frankfurt-Flughafen Rhein-Main und der Taunusstation Altenhain (7018). Die Station Langen (7048), die als repräsentativ für die südliche Mainebene angesehen werden kann, zeigt eine recht gute Übereinstimmung mit der Windverteilung von Frankfurt-Flughafen Rhein-Main. Es scheint jedoch, daß der nur schwach angedeutete Höhenzug, der sich von Messel im Süden über Offenbach-Tempelsee bis Offenbach-Mühlheim im Norden hinzieht, eine gewisse Leitwirkung ausübt.

in the region. A comparison between the Taunus station at Bad Homburg (7001) with the Rhein-Main airport indicates a clear predominance of NW winds (mountain winds or downslope winds). While in Bad Homburg winds are blowing frequently from 300°, at the Rhein-Main airport these winds come simultaneously from directions between 30° and 240°. A similar distribution results from a comparison between the Frankfurt Rhein-Main airport and the Taunus station at Altenhain (7018). The wind distribution at the Langen station (7048), which can be considered as representative for the southern Main plain, is well in line with that at the Rhein-Main airport. It seems, however, that the scarcely prominent hill-range stretching from Messel in the south via Offenbach-Tempelsee to Offenbach-Mühlheim in the north has a certain conducting effect.

Die Stationen westlich dieser Linie zeigen eine mehr Nordost-Südwest orientierte Windverteilung, während die Stationen östlich davon eine derartige Vorzugsrichtung nicht aufweisen.

The stations west of this line indicate a more NE-SW wind orientation, while the stations east of it have not registered any predominant direction.

Als Repräsentant des östlichen Maingebietes wurde Seligenstadt (7046) ausgewählt, welches bei südwestlichen Richtungen am Flughafen Rhein-Main eine Bevorzugung der südlichen Windrichtungen (Leitwirkung des von Süd nach Nord fließenden Mains) erkennen läßt.

Seligenstadt (7046) was selected as representative of the eastern Main region, where southern winds predominate (conducting effect of the river Main flowing from S to N) while winds at the Rhein-Main airport come from SW directions.

Die Station Bad Vilbel (7011) wurde als repräsentativ für das Nidda-Tal dargestellt. Deutlich ist eine Bevorzugung der Winde aus östlichen Richtungen (Niddatal-Wind) zu erkennen.

The station at Bad Vilbel (7011) represents the Nidda valley. Winds there come mostly from eastern directions (Nidda valley winds).

Da zwischen den tagsüber wehenden Winden und den nachts wehenden Winden häufig große Unterschiede auftreten, wurden in der Karte 24 der mittlere Wind (Vektormittel) des ersten Tages (blau) und der ersten Nacht (rot) sowie des letzten Tages (grün) und der letzten Nacht (braun) des untersuchten Zeitraumes der Hochdruckwetterlage für alle Meßstationen dargestellt.

Since there are often great differences between daytime and night winds, map 24 indicates for all measuring stations the average wind (vector average) on the first day (blue) and the first night (red), as well as the last day (green) and the last night (brown) of the survey period during high pressure weather.

Der besseren Übersicht wegen wurde der Windvektor des ersten und des letzten Tages mit einem blauen Pfeil verbunden, ebenso der Windvektor der ersten und der letzten Nacht mit einem roten Pfeil.

For easy reference the wind vector of the first and the last day has been connected by a blue arrow, and the wind vector of the first and the last night with a red arrow.

Außerdem wurde für jede Station in der linken unteren Ecke jeweils die mittlere Tagesamplitude der Temperatur (T) und der relativen Feuchte (F) während der Hochdruckwetterlage und in der rechten unteren Ecke die mittlere Tagesamplitude der Temperatur und der relativen Feuchte während der zyklonalen Westlage angegeben.

Moreover, in the lower left corner the average daily amplitude of the temperature (T) and relative humidity (F) during high pressure weather, and in the lower right corner the average daily amplitude of the temperature and relative humidity during cyclonic west currents has been indicated for each station.

Mit dem Durchzug des Hochdruckgebietes von West nach Ost (siehe Abb. 45) ging die Höhenströmung von Südost auf Nordwest über, wie sich dies sehr deutlich am Kleinen Feldberg im Taunus in 805 m Höhe über NN darstellt.

When the high pressure current passed from west to east (see fig. 45) the high-altitude current passed from SE to NW, as shown very clearly at the Kleine Feldberg/Taunus at an altitude of 805 m above NN.

An den Stationen im Taunusgebiet, sowie im Osten an den Spessartausläufern tritt markant die geringe

At the stations in the Taunus region as well as at those in the east in the foot-hills of the Spessart the minor

BAD HOMBURG
Kronberg
Steinbach
Fischbach
Altenhain
Eschborn
Sulzbach
FRANKFURT
Liederbach
Hofheim
Kriftel
Hattersheim
Zeppelinheim
Buchschlag
Sprendlingen

Mittlerer Wind (Vektormittel) des ersten Tages (blau) und der ersten Nacht (rot) sowie des letzten Tages (grün) und der letzten Nacht (orange) während der Hochdruckwetterlage (HM)
Mean wind (vector mean) of the first day (blue) and the first night (red) as well as of the last day (green) and of the last night (orange) during the high pressure weather situation (HM)

- Temperatur-Amplitude bei HM / temperature-amplitude at HM
- Feuchte-Amplitude bei HM / humidity-amplitude at HM
- Temperatur-Amplitude bei WZ / temperature-amplitude at WZ
- Feuchte-Amplitude bei WZ / humidity amplitude at WZ

1. Tag / 1. day
1. Nacht / 1. night
letzter Tag / last day
letzte Nacht / last night

Beispiel / example
9,6 Temperatur-Amplitude in (° C)
9.6 temperature-amplitude in (° C)
70 Feuchte-Amplitude in (%)
70 humidity-amplitude in (%)
Windrichtung (320°) / wind direction (320°)
Windgeschwindigkeit 1 m/sek / wind velocity 1 m/sec
Windgeschwindigkeit 0,5 m/sek / wind velocity 0.5 m/sec

Karben
Bad Vilbel
Wachenbuchen
Erlensee
Bischofsheim
Bergen-Enkheim
Hochstadt
Dornigheim
FRANKFURT
Muhlheim
Steinheim
Großauheim
Klein-Auheim
Lämmerspiel
Hausen
Großkrotzenburg
Obertshausen
Froschhausen
Neu-Isenburg
Weiskirchen
Seligenstadt
Hainhausen
Jügesheim
Sprendlingen
Dietzenbach
Dreieichenhain
Dudenhofen
Nieder-Roden

167

Maßstab 1 : 100

Differenz in der Windrichtung während der beiden Vergleichs**nächte** hervor, obwohl die Windrichtungen während der beiden Vergleichs**tage** um nahezu 180° gedreht haben. Das Gebiet südlich des Mains und nordöstlich davon weist eine derartige Richtungsbündelung nicht auf, häufig ist jedoch aufgrund der geringeren Windgeschwindigkeiten ein Rückdrehen des Windes (entgegen dem Uhrzeigersinn) in der Nacht zu beobachten.

Die Betrachtung der mittleren Windgeschwindigkeiten läßt erkennen, daß die in den Taunustälern befindlichen Stationen tagsüber meist eine schwächere Luftbewegung aufweisen als die in der Ebene gelegenen Stationen; nachts dagegen ist die Windgeschwindigkeit in der Ebene meist geringer als in den Taunustälern.

5.3.2.2.2. Windverteilungen während ausgewählter Wetterlagen im Vergleich zur Windverteilung des Jahres 1971/72

Für folgende Stationen wurde die Windverteilung der beiden ausgewählten Wetterlagen von jeweils 5 Tagen Dauer mit der Windverteilung des einjährigen Zeitraumes 1971/72 verglichen (siehe Abb. 49).

Bad Homburg (7001), Ober-Erlenbach (7004) und Lorsbach (7034) als Vertreter der im Taunus gelegenen Stationen, Frankfurt-Sossenheim (7032) als Station in den Randbezirken von Frankfurt, Frankfurt-Institut (7404) als Innenstadt-Station, Groß-Krotzenburg (7039) im Osten der Mainebene, Hattersheim (7043) im Westen der Mainebene sowie Neu-Isenburg (7044) und Frankfurt-Flughafen Rhein-Main (7103) in der südlichen Mainebene.

Es zeigt sich, daß die ausgewählten Wetterlagen nahezu bei allen Stationen einander entgegengesetzte Beispiele sind und die Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen während des einjährigen Zeitraumes vorwiegend von diesen beiden Wetterlagen-Typen bestimmt wird.

Die zunächst verblüffende Tatsache, daß im Zeitraum eines Jahres (Juli 1971 bis Juli 1972) die Anzahl der Windstillen teilweise größer ist als während der ausgewählten Hochdruckwetterlage, ist dadurch zu erklären, daß eine Episode ausgesucht wurde, in der das Berg-Talwind-System (Talab- und Talaufwind-System) des Vortaunusgebietes besonders gut ausgeprägt war und daher während der Nachtstunden höhere Windgeschwindigkeiten auftreten als bei anderen Wetterlagen.

Im Anhang sind die Tabellen der Windverteilung des einjährigen Zeitraumes 1971/72 für die bereits genannten Stationen mit Ausnahme von Frankfurt-Flughafen Rhein-Main unter Tabelle I zu finden. Die Windrichtung ist in 10°-Sektoren angegeben, und zwar einmal für die Verteilung auf die Gesamtzahl der untersuchten Fälle (absolute Häufigkeiten), dann für die prozentuale Verteilung (relative Häufigkeit); dazu wurde jeweils die mittlere Windgeschwindigkeit in

difference between the wind directions during the two comparative **nights** becomes clearly apparent, although the winds turned by almost 180° during the two comparative **days.** The region S and NE of the Main does not show such a concentration but due to the inferior wind velocities a turning of the wind (counter clockwise) is often noted during the night.

The survey of average wind velocities indicates that during the day air movements at the stations in the Taunus valley were mostly weaker than at the stations in the plain; at night, on the other hand, the wind speed in the plain is mostly inferior to that in the Taunus valleys.

5.3.2.2.2. Wind distributions during selected weather conditions in comparison with the wind distribution in 1971/1972

The wind distribution during five days each of the two selected weather conditions was compared with the wind distribution of the one-year period of 1971/72 for the following stations (see fig. 49).

Bad Homburg (7001), Ober-Erlenbach (7004) and Lorsbach (7034) as representatives of the Taunus stations, Frankfurt-Sossenheim (7032) as the station at the outskirts of Frankfurt, Frankfurt Institute (7404) as city center station, Groß-Krotzenburg (7039) in the east of the Main plain, Hattersheim (7043) in the west of the Main plain and Neu-Isenburg (7044) and Frankfurt Rhein-Main airport (7103) in the southern Main plain.

It turned out that the selected weather conditions were opposing examples at almost all the stations and that these two weather types determined the frequency of the wind direction decisively during the one-year period.

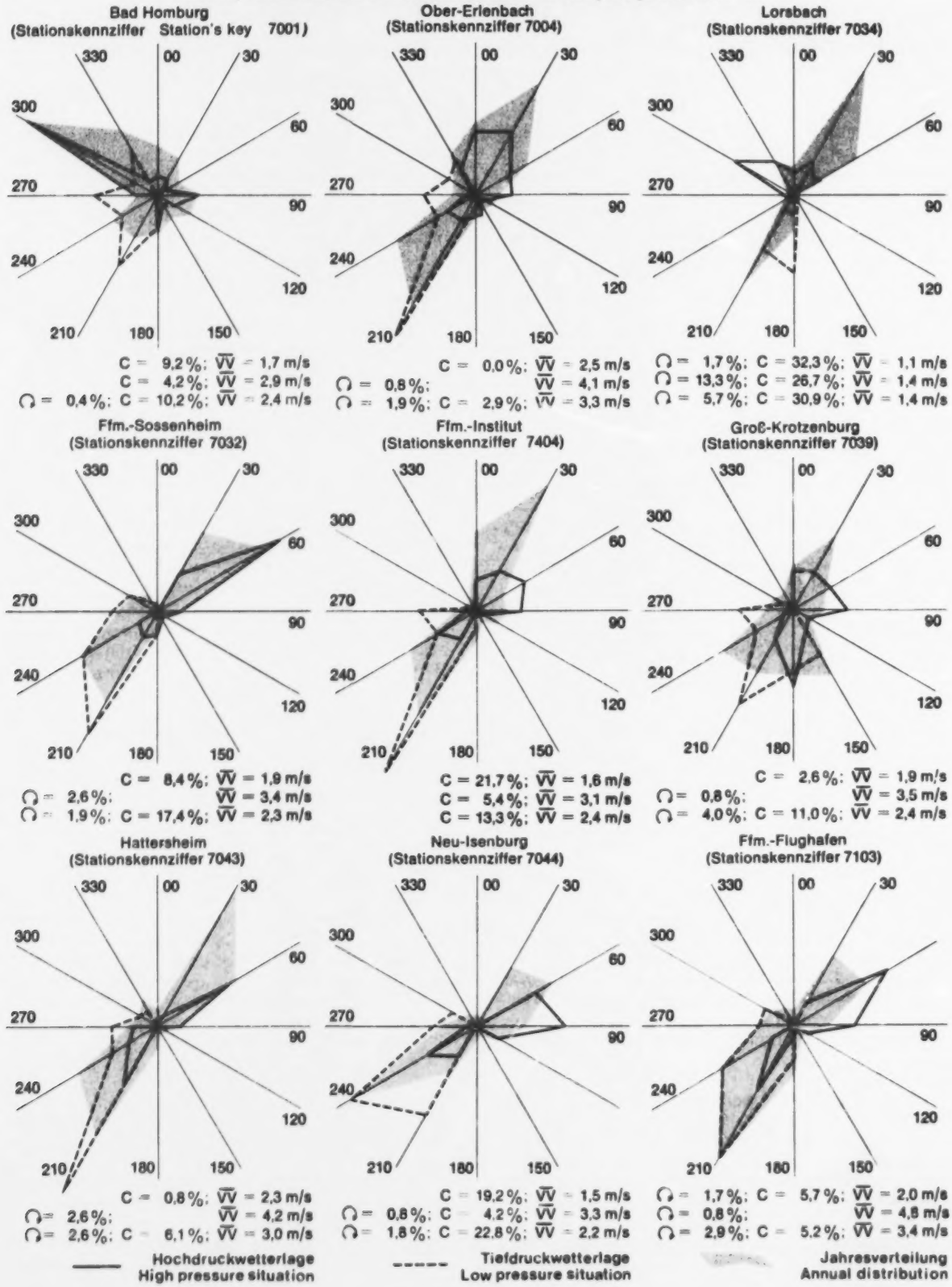
The amazing fact that there were more calm weather periods during the one year from July 1971 to July 1972 than during the selected high pressure weather conditions can be explained by the fact that during the selected episode the mountain-downslope wind system (upward and downward wind system) in the lower Taunus region was especially intensive, so that wind speeds during the night were higher than under other weather conditions.

Tabulations showing the wind distribution during the one-year period of 1971/72 for the stations mentioned above, with the exception of the Rhein-Main airport, are enclosed in the annex under Table 1. The wind direction is shown in 10° sectors, first as a breakdown for all survey cases (absolute frequency) and secondly as a percentage breakdown (relative frequency); the average wind velocity in each case has been calculated in m/sec. The cases named "Schwachwind"

Preceding page blank

Abb. 49
Fig. 49

Windverteilung nach ausgewählten Wetterlagen (5 Tage)
im Vergleich mit der Windverteilung des einjährigen Zeitraumes 1971–72
Wind distribution by selected weather situations (5 days)
in comparison with the wind distribution of the one-year-period 1971–72



m/sec berechnet. Die mit „Schwachwind" bezeichneten Fälle geben die Windstillen an und unter „umlaufender Wind" sind variable Windrichtungen zu verstehen.

Zusammenfassung:

Aufgrund der Meßergebnisse von rund 50 Stationen, die im Rhein-Main-Gebiet vom Deutschen Wetterdienst errichtet wurden, wurden zwei sehr unterschiedliche Wetterlagen untersucht und miteinander verglichen.

Es zeigte sich bei dieser Untersuchung, daß bei der Auswertung des Gesamtmaterials folgende Punkte berücksichtigt werden müssen:

1. Es bilden sich homogene Windfelder bei Advektionswetterlagen (z. B. zyklonale Westlage) aus, für die das sog. Bremer Modell nach Fortak (siehe Kap. 5.3.5.2) angewendet werden kann. Gleichzeitig festzustellen sind bei dieser Wetterlage geringe Tagesamplituden (Differenz zwischen maximalem und minimalem Wert) von Temperatur und relativer Feuchte an allen Stationen.
2. Es bilden sich während einer Hochdruckwetterlage in der Nacht (z. B. Hoch über Mitteleuropa) nahezu homogene Windfelder aus, die durch die Taunustäler erzeugt werden und größtenteils höhere Windgeschwindigkeiten aufweisen als tagsüber.

   Das gleiche gilt im Gebiet des Kinzigtales als Spessartausläufer.

   Diese Wetterlagen zeichnen sich durch große Tagesamplituden von Temperatur und relativer Feuchte an allen Stationen aus, allerdings treten Differenzierungen wegen der in Kap. 5.3.2.1 beschriebenen zusätzlichen Einflüsse auf.
3. In den übrigen Umgebungsgebieten, insbesondere im Süden und Nordosten von Frankfurt, scheint sich während der Hochdruckwetterlagen in der Nacht keine ausgeprägte Vorzugsrichtung des Windes einzustellen.

   Diese Untersuchung von Einzelfällen muß auch in Zukunft fortgeführt werden, um festzustellen, ob die obige Gruppeneinteilung aufrecht erhalten werden kann oder sich noch andere Zirkulationssysteme einstellen.

5.3.3. Profilmeßfahrten durch Frankfurt a. M.

Das Klima einer größeren Ansiedlung wie Frankfurt am Main weicht von dem der Umgebung stark ab. Dies prägt sich vor allem in der Temperatur, Feuchte und der atmosphärischen Schichtung – insbesondere in den Nachtstunden während einer Hochdruckwetterlage – aus. Die Rauhigkeit der Oberfläche sowie die Wärmespeicherung einer Ansiedlung verringert die Amplitude von Temperatur und Feuchte in Stadtgebieten (siehe Kap. 5.3.1).

(weak winds) indicate calm weather, and those named "umlaufender Wind", variable wind directions.

Summary:

On the basis of the measurements of about 50 stations, established in the Rhein-Main region by the German Weather Service, two very different weather conditions have been examined and compared.

This survey showed that the following points have to be taken into consideration when evaluating the entire material:

1. During advection weather conditions (such as cyclonic west currents) homogeneous wind fields form, for which the so-called Bremen model according to Fortak (see chapter 5.3.5.2.) can be used. Another feature of this weather condition are low daytime amplitudes (difference between maximum and minimum value) of temperature and relative humidity at all stations.
2. During high pressure weather conditions (for instance high pressure over Central Europe) almost homogeneous wind fields form in the Taunus valleys, whose velocity is mostly greater than in daytime.

   The same applies to the area of the Kinzig valley as spur of the Spessart.

   These weather conditions are marked by high daytime amplitudes of temperature and relative humidity at all stations. There are differences, however, which are due to additional influences as described in chapter 5.3.2.1.
3. In the remaining survey areas, especially S and NE of Frankfurt, there seems to be no predominating wind direction at night during high pressure weather.

   This survey of individual cases should be continued in future in order to find out whether the group classification mentioned above can be maintained or whether other circulation systems occur.

5.3.3. Horizontal profile field measurements of temperature and wet bulb temperature from mobile stations through Frankfurt/Main

The climate of a major settlement such as Frankfurt/M. differs substantially from that of its surroundings. This difference is indicated in particular by temperature, humidity and atmospheric strata, especially at night during high pressure weather. The roughness of the surface and the heat accumulation in a settlement reduce the amplitude of temperature and humidity in city areas (see chapter 5.3.1.).

Daher wurden mehrere Profilfahrten mit einem Profilwagen (siehe Kap. 5.2) in den Nachtstunden mit Messungen von Temperatur und Feuchte quer durch Frankfurt a. M. vorgenommen. Gleichzeitig wurden Radiosondenaufstiege an mehreren Punkten durchgeführt.

Als Beispiel sei hier eine derartige Profilfahrt (Nord-Süd-Schnitt durch Frankfurt), die im März 1973 bei einer südlichen Höhenströmung (am Kleinen Feldberg wurden 180° mit 3 bis 4 m/sec gemessen) durchgeführt wurde, dargestellt.

Die Karte 25 zeigt den Temperaturverlauf von 08.00, 22.00, 02.00 und 06.00 Uhr MEZ mit einer maximalen Differenz um 22.00 Uhr zwischen Stadt und Umland von über 8° C (auf der Abszisse sind die Meßpunkte, auf der Ordinate die Temperaturen eingetragen). Aufgrund des häufigen Anfahrens der einzelnen Meßpunkte war es durch Interpolation möglich, alle Messungen auf die gleiche Uhrzeit zu reduzieren. Im mittleren Teil der Abbildung ist die Höhenlage der 31 angefahrenen Punkte eingetragen; darunter ist die eigentliche Fahrtroute gekennzeichnet mit der Angabe, ob sich die Meßstelle auf Wiesen-, Wald-, leicht bebautem, stark bebautem oder sehr stark bebautem Gelände befand. Ebenfalls eingetragen in diese zuletzt genannte Karte sind die Standorte I bis IV für die gleichzeitig durchgeführten Radiosondenaufstiege.

Eine ähnliche Zeichnung wurde für die Feuchteverteilung erstellt (siehe Karte 25); die größten Differenzen zwischen Stadt- und Umland konnten wiederum gegen 22.00 Uhr MEZ mit einer Differenz von rund 30 Prozent festgestellt werden.

Windmessungen im Niddatal – am Radiosondenaufstiegsort I (Woogswiese) und an den beiden nächstgelegenen Temporärstationen – zeigten in der Nacht die Ausbildung des Talabwindes durch östliche Windrichtungen. Am nördlichen Endpunkt der Fahrtroute, an der Station Kalbach (7008) hatte sich ebenfalls der Talabwind aus nordwestlicher Richtung ausgebildet; am südlichen Endpunkt, an der Station Neu-Isenburg, (7044) waren schwache Winde aus östlichen Richtungen zu beobachten.

Die Radiosondenaufstiege, die hier ausgewählt wurden, fanden zwischen 21.00 Uhr und 01.00 Uhr MEZ an den Radiosondenaufstiegsorten I bis IV und wiederum I statt (siehe Abb. 50). Sehr deutlich ist hier ein Unterschied zwischen dem Aufstiegsort III (Römer) inmitten der Stadt und den übrigen Aufstiegen festzustellen. Während bei den Aufstiegen, die im freien Gelände vorgenommen wurden, die Ausbildung von Bodeninversionen zu beobachten ist, ist in der Innenstadt zunächst eine instabile Durchmischungsschicht bis etwa 100 m Höhe über Grund aufgezeichnet, erst darüber beginnt die Inversion.

Dies läßt darauf schließen, daß aufgrund der thermischen und mechanischen Konvektion in der Stadt die Inversionen angehoben werden, d. h. Wärmespeicherung und größere Rauhigkeit in der Stadt führen im Gegensatz zum Umland zu einem Anwachsen der Schicht des turbulenten Austausches. Damit entsteht

Therefore several profile survey trips were made in a profile survey car (see chapter 5.2.) which carried out night measurements of temperature and humidity across Frankfurt. At the same time radiosondes were started at various locations.

The following profile survey trip (north-south section across Frankfurt) which was carried out in March 1973 during a southern altitude current (180° at 3–4 m/sec. were measured at the Kl. Feldberg) is given as an example.

Map 25 shows the temperature at 0800, 2200, 0200 and 0600 hours Central European Time, during which the maximum difference of more than 8° C between the city and its surroundings was measured at 2200 hours. (The measuring points are indicated on the abscissa, the temperatures on the ordinate). Due to numerous visits to the measuring points it was possible through interpolation to reduce all measurements to the same hour. The central part of the chart shows the altitude of the 31 points visited; the actual route has been marked below indicating whether the measuring point is located in fields, woods, slightly or densely or very densely built-up areas. Moreover, this latter map also shows the stations I to IV, at which radiosondes were started simultaneously.

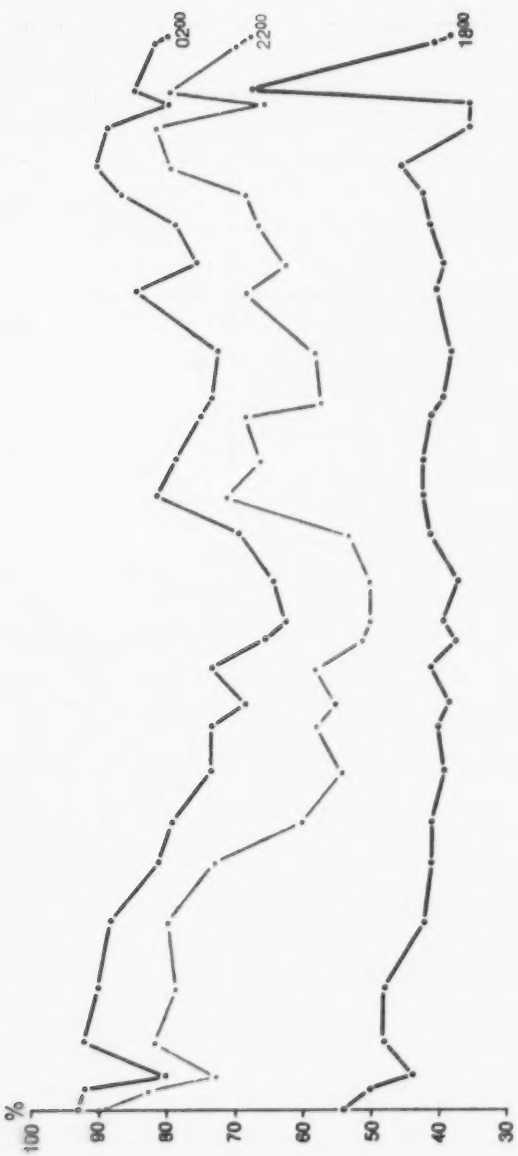
A similar drawing has been prepared for the humidity distribution (see map 25); the largest differences between the city and its surroundings – about 30% – has been measured again around 2200 hours Central European Time.

Wind measurements in the Nidda valley – the starting point I of the radiosonde (Woogswiese), and at the two nearest temporary stations – showed downslope winds from eastern directions during the night. At the northern end of the driving route, at the Kalbach station (7008) there were downslope winds from a NW direction. At the southern end, at the Neu-Isenburg station (7044), weak winds from eastern directions were observed.

The selected radiosonde starts took place between 21.00 and 01.00 hours Central European Time at the radiosonde starting points I to IV and then I again (see fig. 50). There is a very clear difference between the starting point III (Römer) in the center of the city and the other starts. While soil inversions were observed during the starts in an open area, an instable intermixed stratum up to about 100 m above the ground and inversion starting only above this stratum, were recorded in the center of the city.

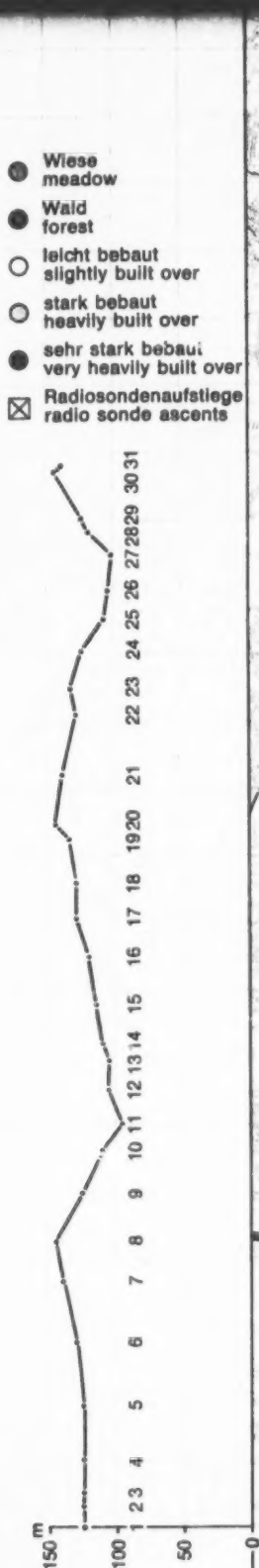
This permits the conclusion that the inversions rise due to the thermic and mechanical convection in the city, i. e. the heat accumulation and greater roughness in the city cause – contrary to the surroundings – an increase of the turbulent exchange stratum. This creates the so-called "fumigation type" which is much

Feuchteverteilung während einer Profilmeßfahrt durch Frankfurt/Main
Distribution of humidity during a horizontal profile field measurement of temperature and wet bulb temperature from a mobile station through Frankfurt/Main



Temperaturverteilung während einer Profilmeßf durch Frankfurt/Main
Distribution of temperature during a horizontal prof measurement of temperature and wet bulb tempe from a mobile station through Frankfurt/Mai

während einer Profilmeßfahrt
Frankfurt/Main
e during a horizontal profile field
ature and wet bulb temperature
on through Frankfurt/Main



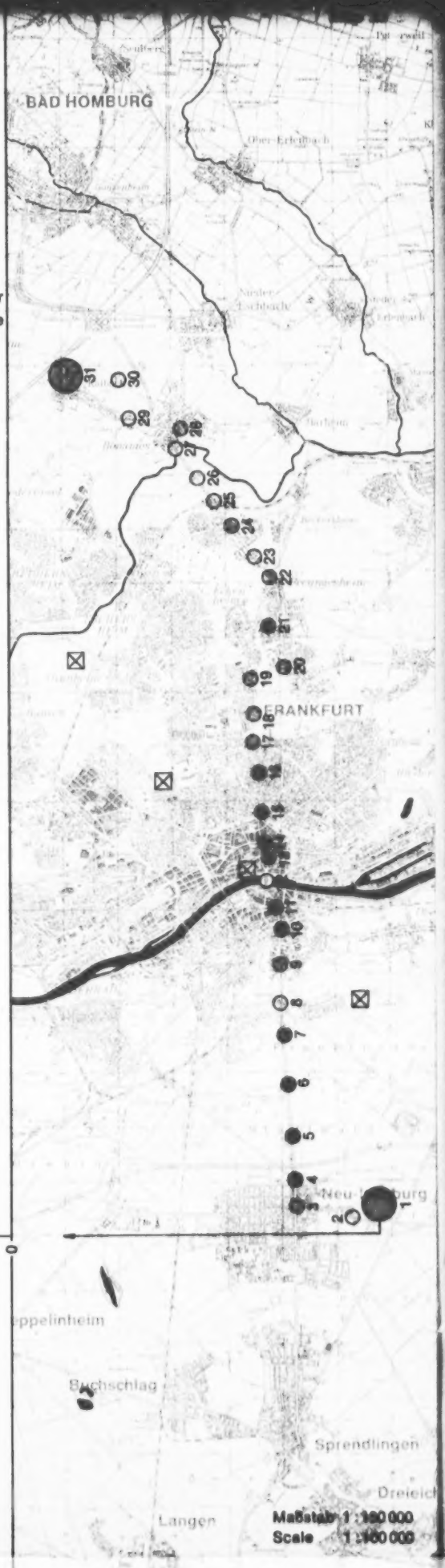
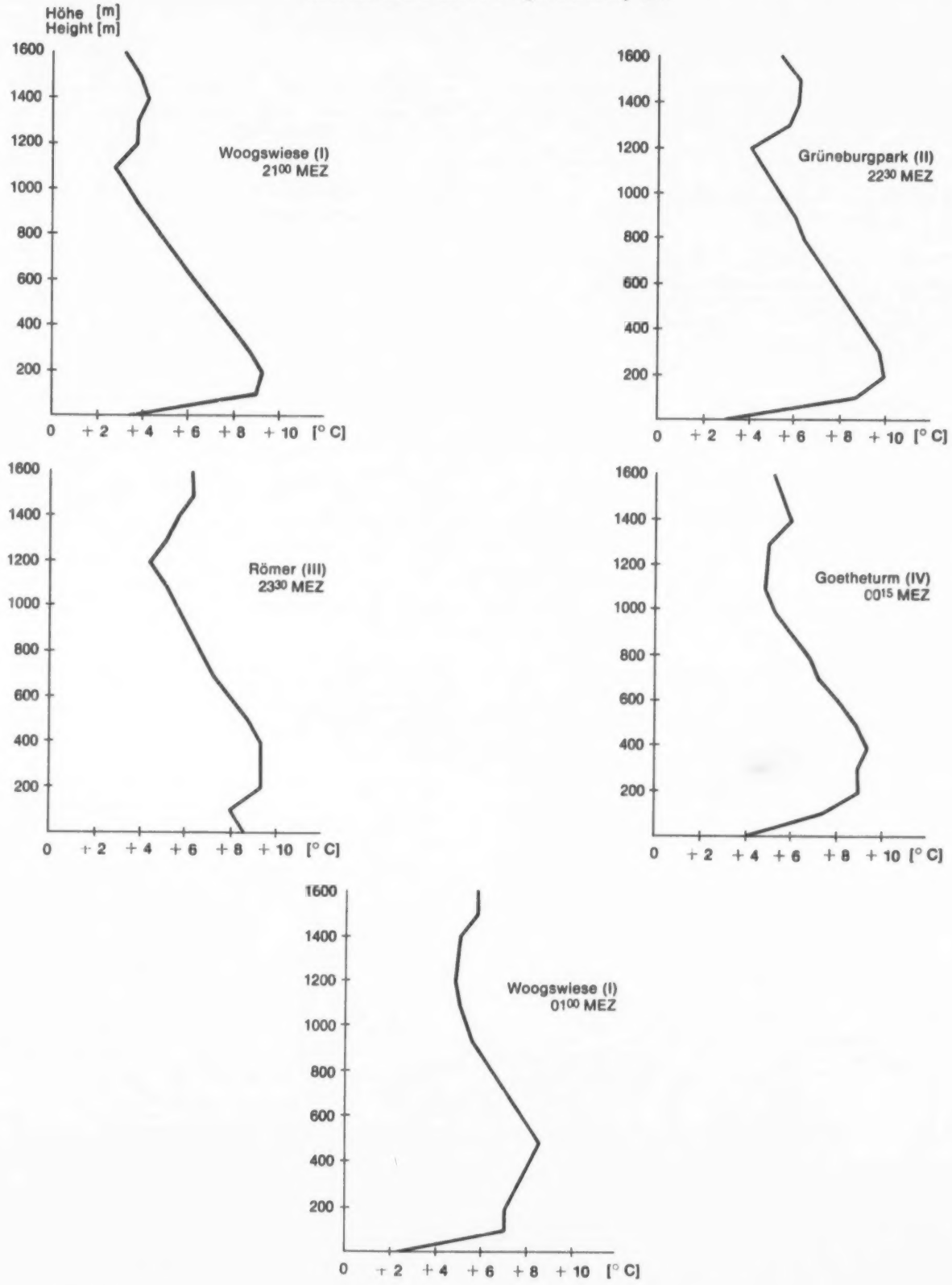


Abb. 50
Fig. 50

Vertikalsondierungen der Temperatur während einer Profilmeßfahrt durch Frankfurt/Main
Radio sonde ascent of temperature during a profile field measuring of temperature and wet bulb temperature from a mobile station through Frankfurt/Main



Preceding page blank

hier der sogenannte „Fumigation-Typ", der für die Ausbreitung sehr gefürchtet ist, wenn er längere Zeit anhält. Alle Spurenstoffe aus niedrigen Quellen werden zwar in dieser Schicht gut durchmischt, da sie meist aber eine geringe Höhe erreicht, führt dies bei längerer Andauer und dauerndem Nachschub der Emissionen zu einer Anreicherung der Spurenstoffe.

Es ist geplant, den zeitlichen Verlauf dieses Inversionsmechanismus im Zentrum einer größeren Ansiedlung eingehender zu untersuchen.

5.3.4. Schwebeballonvermessungen in einem Taunustal

Um die Höhenbegrenzung und den Strömungsverlauf des sich nachts ausbildenden Talabwindes in einem der Taunustäler zu erfassen, wurden im Herbst 1972 im Kirdorfbachtal, in der Nähe einer größeren Ansiedlung, nämlich bei Bad Homburg, Schwebeballonvermessungen (siehe Kap. 5.2.2.2) und gleichzeitig Vertikalsondierungen zur Erfassung der Temperatur vorgenommen. Der Ballon wurde mit Hilfe von 2 Theodoliten verfolgt. Die Wetterlage war gekennzeichnet durch eine Hochdruckbrücke über Mitteleuropa.

Kurz vor Sonnenaufgang erreichte die Temperatur ihren tiefsten Wert von 10,4° C und die relative Feuchte ihren höchsten Wert von 93 Prozent. Am Kleinen Feldberg in 805 m Höhe über NN, der hier als repräsentativ für die Höhenströmungen gelten soll, wurden am Abend Winde aus NE (40°), um Mitternacht bis zum Morgen Winde aus östlichen Richtungen (90°) beobachtet.

Der aus nordwestlichen Richtungen wehende Talabwind (ca. 300°) an der Station Dornholzhausen (7003) setzte gegen 18.00 Uhr MEZ ein und hielt bis 08.00 Uhr MEZ am nächsten Morgen an.

In der folgenden Abbildung wurden einige Schwebeballonvermessungen mit gleichzeitigen Vertikalsondierungen der Temperatur um 18.00, 20.00, 03.00 und 07.00 Uhr MEZ ausgewählt (siehe Abb. 51). Die linke Darstellung gibt den Temperaturverlauf mit der Höhe an. Die rechte Darstellung zeigt die Projektion der Zugrichtung des Ballons über Grund. An markanten Punkten wurde die Höhe des Ballons über Grund eingetragen. Um 20.00 Uhr hatte sich die Erdoberfläche gegenüber dem Aufstieg um 18.00 Uhr bereits um 5° C abgekühlt. Dadurch war eine Bodeninversion entstanden. Das Anwachsen der durch den Talabwind erfaßten untersten Atmosphärenschicht bis auf nahezu 150 m über Grund kurz nach Mitternacht ist deutlich zu sehen, sie fällt mit der Obergrenze der Inversion zusammen.

Um 20.00 Uhr MEZ zeigte sich jedoch eine weitere interessante Erscheinung: Der Ballon wanderte zunächst mit nordwestlichem Talabwind nach Südosten auf die Ansiedlung Bad Homburg zu, kehrte dann jedoch leicht absinkend nach Nordwesten zurück, bis er in die nordöstliche Höhenströmung einbezogen wurde.

feared because it may diffuse if it prevails for an extended period. Although all agents from lower sources are well intermixed in this stratum, an enrichment of the agents may be caused if emissions last and are continuously supplied, since the stratum mostly reaches only an inferior height.

It is planned to examine in greater detail the periodical development of this inversion mechanism in the center of a major settlement.

5.3.4. Constant-level balloon measurements in a Taunus valley

In order to obtain data on the upper limits and the current of the downslope night winds in one of the Taunus valleys hoverballoon measurements and simultaneous vertical measurements to register the temperature were carried out in the Kirdorfbach valley near the major settlement of Bad Homburg in the autumn of 1972 (see chapter 5.2.2.2.). The balloon was tracked with the aid of 2 theodolites. The prevailing weather condition was a high pressure bridge over Central Europe.

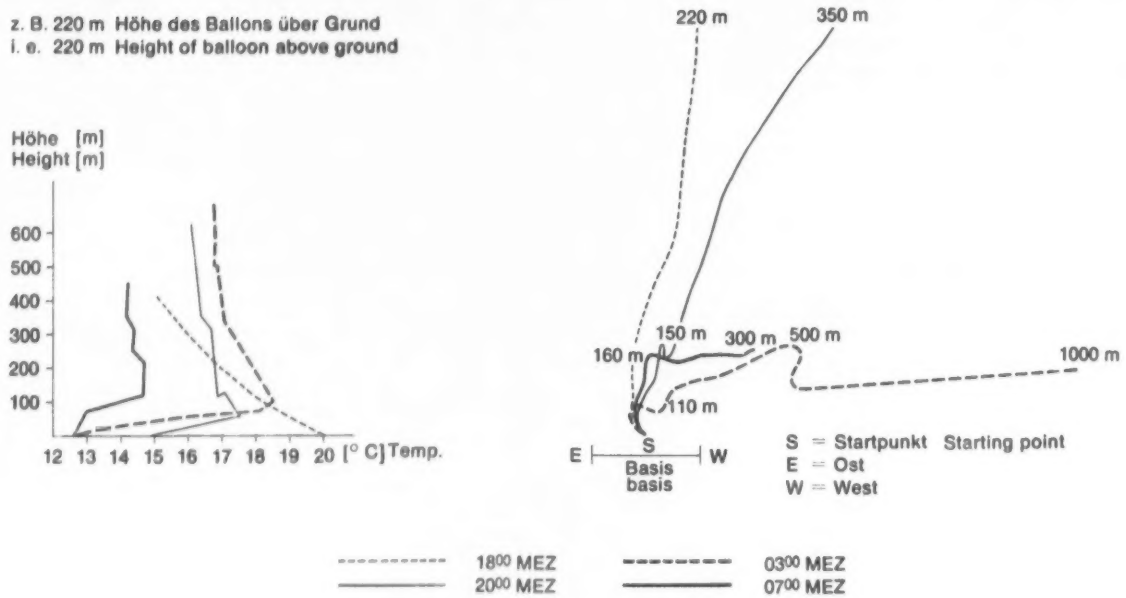
Shortly before sunrise the temperature reached its minimum of 10.4° C and the relative humidity its maximum of 93%. At the Kleiner Feldberg at an altitude of 805 m above sea level which is representative for the highaltitude current in this study winds from NE (40°) were noted in the evening and winds from eastern directions (90°) around midnight until morning.

The downslope wind (approx. 300°) from NW directions measured at the Dornholzhausen station (7003) started around 1800 hours Central European Time and continued until 0800 hours Central European Time next morning.

The following fig. 51 shows some hover balloon measurements including simultaneous vertical temperature measurements at 1800, 2000, 0300 and 0700 hours Central European Time. The drawing on the left indicates the development of the temperature and the altitude. The drawing on the right shows the projection of the balloon drifting above ground. The altitude of the balloon above the ground has been recorded at characteristic points. At 20.00 hours the earth surface had already cooled by 5° C compared with the balloon's start at 1800 hours. This caused a soil inversion. The expansion of the lowest atmospheric stratum caught by the downslope wind up to almost 150 m above the ground shortly after midnight is clearly visible; it coincides with the upper limit of the inversion.

At 20.00 hours Central European Time, however, another interesting phenomenon was noticed: the balloon drifted at first with the NW downslope wind to SE in direction of Bad Homburg, but returned then, slightly loosing height, to NW until it was absorbed by the NE high-altitude current.

Vertikalsondierungen und Schwebeballonvermessungen in einem Taunustal **Abb. 51**
Radio sonde ascents and constant-level balloon measurements in a Taunus valley **Fig. 51**



Um 03.00 Uhr MEZ tritt diese Erscheinung noch markanter zutage, hier erhält der Ballon in etwa 100 m über Grund und nochmals in etwa 500 m ü. Gr. einen kräftigen Impuls aus südlicher Richtung, ehe er den Anschluß an die nun aus östlichen Richtungen kommende Höhenströmung gewinnt. Selbst um 07.00 Uhr morgens konnte noch eine schwache gegenläufige Bewegung festgestellt werden.

Diese Ereignisse zeigen, daß der Ballon über dem Ansiedlungsgebiet einen Impuls entgegen der Windrichtung erhält. Gleichzeitige Vertikalsondierungen weisen während der Bewegung des Ballons auf die Ansiedlung zu eine zusätzliche Erwärmung auf, nach der Strömungsumkehr sinkt der Ballon häufig etwas ab, gelangt also in kühlere Gebiete und wird dort von der Höhenströmung erfaßt.

Dies deutet daraufhin, daß ein Ausströmen der Warmluft in der Höhe von dem Stadtgebiet zum Umland hin stattfindet. Diese Rückströmung war jedoch nicht kontinuierlich zu beobachten, sondern in unterschiedlichen Zeitabständen. Offenbar ist der Impuls entgegen der Windrichtung nur zeitweilig groß genug, um eine Gegenströmung herbeizuführen.

Derartige Untersuchungen müssen wiederholt und auch im Lee der Ansiedlung durchgeführt werden.

5.3.5. Ausbreitungsverhältnisse

5.3.5.1. Ausbreitungsklassen nach Klug

Bei der Behandlung vieler Probleme der Luftreinhaltung benötigt man Häufigkeitsverteilungen der me-

At 0300 hours Central European Time this phenomenon showed itself even clearer when about 100 m above the ground and later again about 500 m above the ground the balloon received a strong impulse from a southern direction before connecting with the high-altitude current, which now came from eastern directions. Even at 0700 hours in the morning there was still a weak opposite movement.

These phenomena show that the balloon received an impulse contrary to the wind direction when drifting above a settlement. Simultaneous vertical measurements indicated an additional warming up while the balloon moved towards the settlement, after the turn of the current the balloon often lost some height, came into cooler areas and was absorbed there by the high-altitude current.

This indicates that in higher altitudes the warm air moves from the city area towards the surrounding region. However, this current was not continuously observed but at varying intervals. The impulse contrary to the wind direction is probably only sometimes strong enough to cause acounter current.

Such surveys have to be repeated and should be carried out also on the leeside of the settlement.

5.3.5. Diffusion conditions

5.3.5.1. Diffusion classes by Klug

When dealing with many problems of air pollution control information on the frequency of conditions of

teorologischen Ausbreitungsbedingungen. Die wesentlichen meteorologischen Parameter dieser Ausbreitungsbedingungen sind Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Turbulenzzustand der Atmosphäre. Der Turbulenzzustand der Atmosphäre kann nach Klug durch Ausbreitungsklassen charakterisiert werden, wobei diese Ausbreitungsklassen aus den Daten einer Wettermeldung bestimmt werden können.

meteorological diffusion is required. The essential meteorological parameters for these diffusion conditions are wind velocity, wind direction and atmospheric turbulence conditions. According to Klug atmospheric turbulence conditions can be characterized by diffusion classes which can be determined from the data of a weather report.

Ausbreitungsklassen nach Klug:

Diffusion classes according to Klug:

Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe Wind speed at 10 m above ground	Gesamtbedeckung Overall cloud cover				
	nachts at night		tags during daytime		
	0/8–6/8	7/8–8/8	0/8–2/8	3/8–5/8	6/8–8/8
< 1,5 m/sec	I	II	IV	IV	IV
2 m/sec	I	II	IV	IV	III2
3 m/sec	II	III1	IV	IV	III2
4 m/sec	III1	III1	IV	III2	III2
≥ 5 m/sec	III1	III1	III2	III1	III1

Hierbei entsprechen die Klasse I der sehr stabilen und die Klasse V der sehr labilen Schichtung. Spezielle Modifikationen sind in der Originalarbeit beschrieben (2). Unbedingt wichtig ist daraus folgender Hinweis: während der Monate Juni und Juli zwischen 11.00 und 15.00 Uhr sowie in den Monaten August und Mai zwischen 12.00 und 14.00 Uhr wird bei einer Windgeschwindigkeit < 9 Knoten und einer Gesamtbedekkung < 5/8 die nächst höhere Ausbreitungsklasse genommen. Hierdurch wird eine Ausbreitungsklasse V möglich.

Class I represents a very stable and class V a very fluid stratum. Special modifications are described in the original study (2). Of great importance is the following indication in the study: during the months of June and July between 1100 and 1500 hours and in August and May between 1200 and 1400 hours at a wind speed of < 9 knots and an overall cloud cover of < 5/8 the next higher diffusion class has to be applied. This makes it possible to establish a diffusion class V.

In Abb. 52 sind die Häufigkeiten der einzelnen Ausbreitungsklassen von Bremen, Düsseldorf, Köln, Frankfurt und Kassel dargestellt. Die Reihenfolge der Stationen ist so gewählt, daß die Häufigkeit der stabilen Klassen I und II zunimmt, d. h. in Bremen sind die Ausbreitungsverhältnisse recht günstig, in Kassel dagegen sehr ungünstig. Die Verhältnisse in Frankfurt/Main neigen der ungünstigen Seite zu. Für Bremen, Düsseldorf und Köln wurde das Ausbreitungsmodell nach Fortak (3) angewendet, für Frankfurt wird eine Anwendung des Modells angestrebt. Aus diesem Grunde wurde zunächst für Frankfurt eine Auswahl für bestimmte Windfelder durchgeführt (siehe Kap. 5.3.5.2).

Fig. 52 shows the frequency of the various diffussion classes in Bremen, Düsseldorf, Köln, Frankfurt and Kassel. The stations have been arranged in series in which the frequency of the stable categories I to II increases, i. e. diffusion conditions in Bremen are quite favourable, in Kassel very unfavourable. Conditions in Frankfurt tend towards the unfavourable side. For Bremen, Düsseldorf and Köln the diffusion model according to Fortak (3) was used, and this is also to be used for Frankfurt later on. For this reason a selection of certain windfields has been taken for Frankfurt first (see 5.3.5.2.).

Die Windverteilungen der oben genannten Stationen sind in Abb. 53 für einen langjährigen Zeitraum (1955 bis 1969) dargestellt. In Bremen zeigt sich eine recht gleichmäßige Häufigkeit aller Windrichtungen, in der Reihenfolge der genannten Stationen tritt jedoch eine immer stärkere Modifizierung durch die Orographie in den Vordergrund und die Häufigkeit der Windstillen nimmt zu.

The wind distributions at the stations mentioned above are shown in fig. 53 for an extended period (1955 to 1969). In Bremen the winds blow from the various directions with an almost equal frequency, there is, however, an increasing modification due to the orography in the order of the stations quoted above, and the frequency of calm weather is increasing.

In Abb. 54 ist die Windrose von Frankfurt-Flughafen für die Jahre 1960 bis 1963 dargestellt, einmal aufgeteilt nach 10° Sektoren und einmal nach 30°-Sek-

Fig. 54 shows the windrose at Frankfurt airport from 1960 to 1963, divided into 10° sectors and into 30° sectors. The accompanying distribution of the wind

Ausbreitungsklassen nach Klug
Diffusion classes by Klug

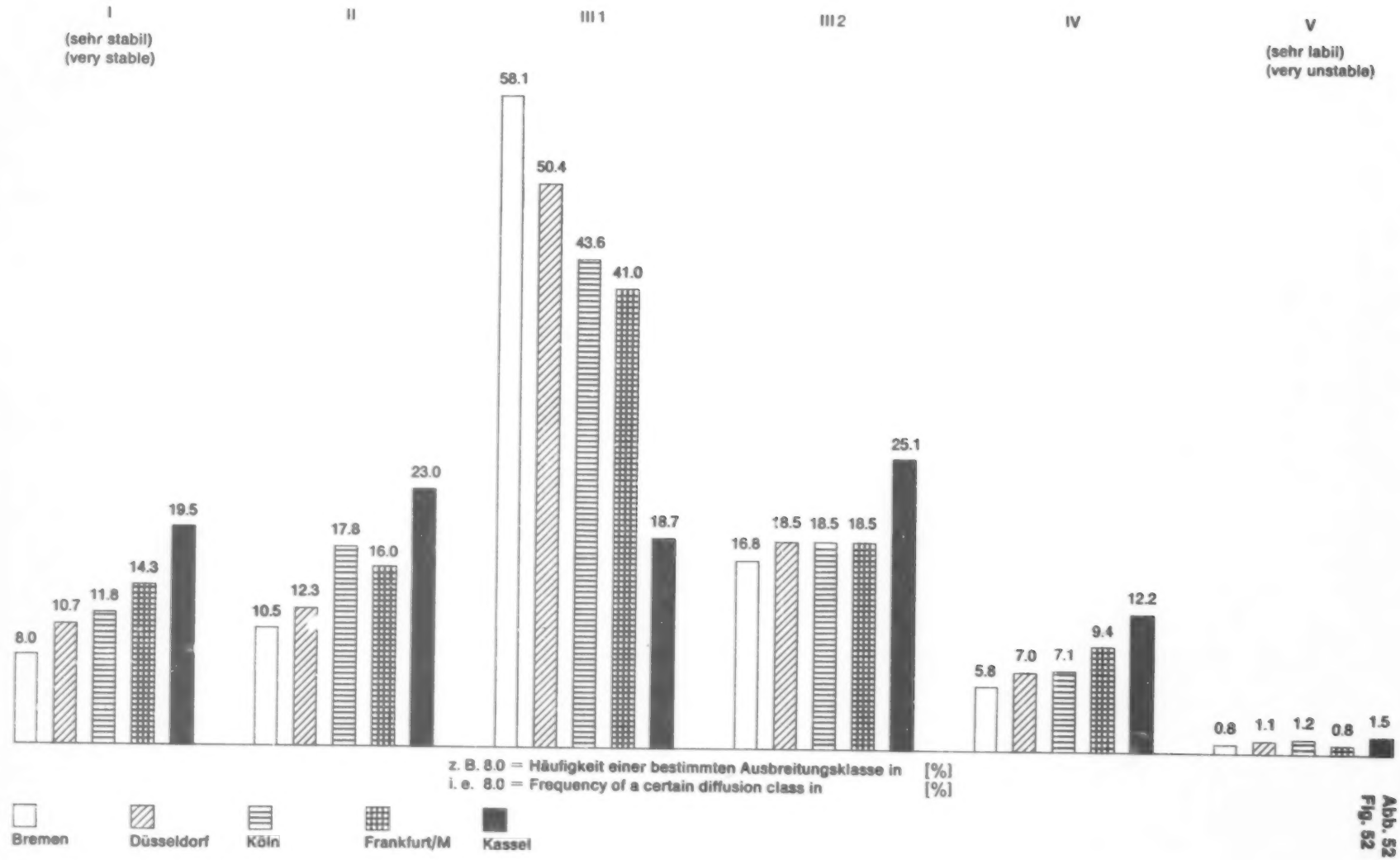
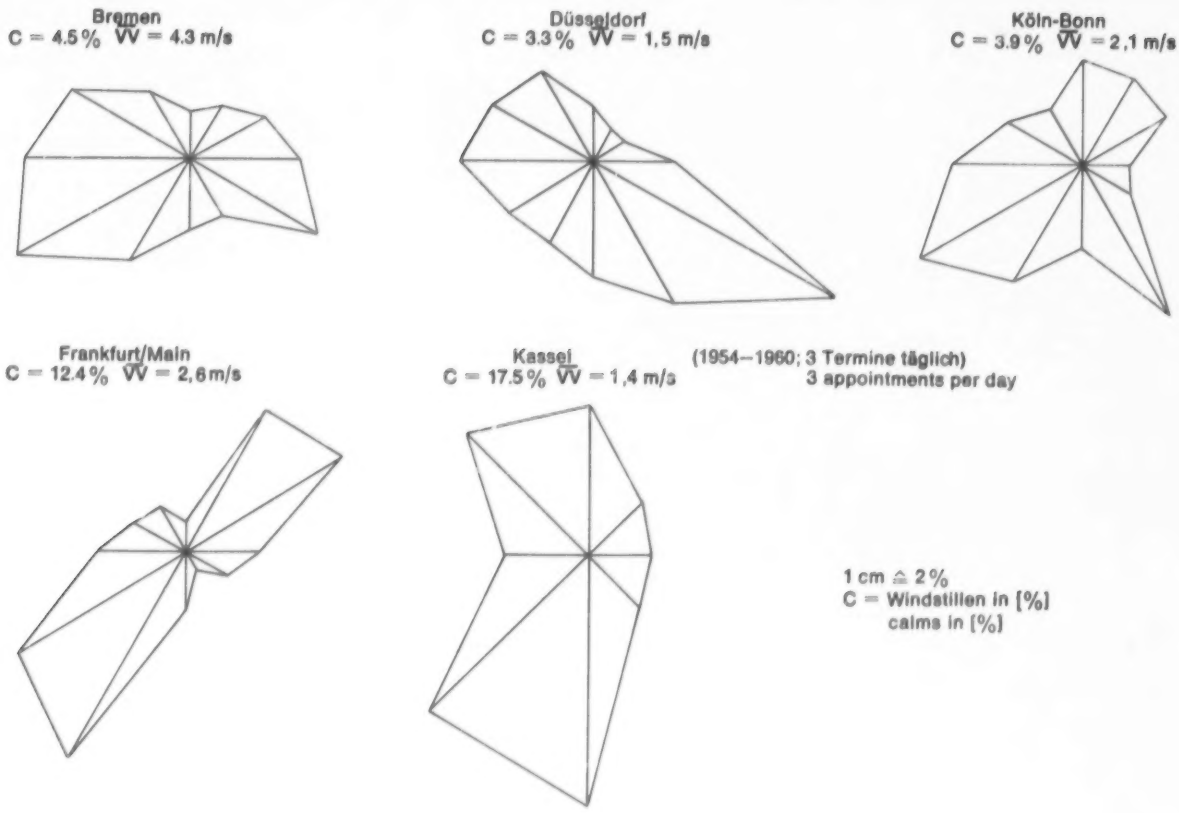


Abb. 52
Fig. 52

Abb. 53 **Windrichtungsverteilungen (aus stündlichen Beobachtungen) 1955–1969**
Fig. 53 **Distributions of wind direction (hourly observations) 1955–1969**



toren. Die zugehörige Verteilung von Windrichtung (in 10°-Sektoren) und Windgeschwindigkeit (in 1-Knoten-Stufen) auf die einzelnen Ausbreitungsklassen ist im Anhang unter Tabelle II festgehalten. Es zeigt sich, daß die stabilen Klassen I und II sehr häufig bei nordöstlichen Windrichtungen und Windstillen (WS) auftreten, die labilen Klassen IV und V z. T. ebenfalls bei nordöstlichen Winden, häufig jedoch bei südwestlichen Winden und bei Winden aus unterschiedlichen Richtungen (umlaufende Winde = UW).

5.3.5.2. Auswahl geeigneter Wetterlagen zur Anwendung eines Ausbreitungsmodells

In der ersten Phase wird das sogenannte „Bremer-Modell" von Prof. Fortak für die rechnerische Ermittlung der SO_2-Grundbelastung aus Immissionsdaten und meteorologischen Parametern angewendet werden; deshalb ist eine Ermittlung und Auflistung der hierfür geeigneten Wetterlagen nötig.

Wie im 4. Arbeitsbereich der Regionalen Planungsgemeinschaft Untermain bereits z. T. ausgeführt, beinhalten die Modellannahmen für das sog. Bremer-Modell unter anderem die Forderung nach einem homogenen Windfeld. Diese Voraussetzung kann im Frank-

direction (in 10° sectors) and wind velocity (in 1-knot stages) to the various diffusion classes is shown in the Annex in table II. It results that the stable classes I and II are noted very often in case of NE winds and calm weather (WS), the fluid classes IV and V are registered also during NE winds, but often also in case of SW winds and winds from various directions (changing winds = UW).

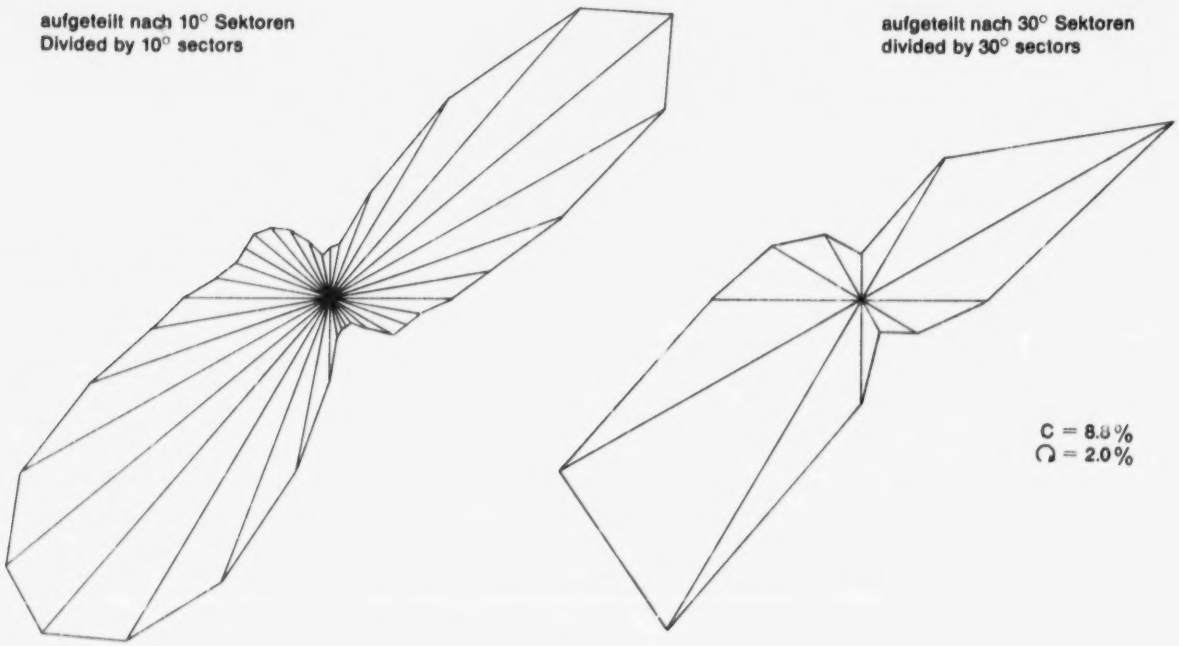
5.3.5.2. Selection of appropriate weather conditions for the application of a diffusion model

During the first phase the so-called "Bremen model" of Prof. Fortak has been used for the calculation of the basic SO_2-pollution derived from immission data and meteorological parameters; the appropriate weather conditions have to be determined and listed.

As explained in the 4th working report of the Regional Planning Community Untermain, the model assumptions for the so-called Bremen model require, inter alia, a homogeneous wind field. This pre-condition cannot be considered as even nearly fulfilled in the

Windrichtungsverteilung von Ffm.-Flughafen Rhein-Main (aus stündlichen Beobachtungen) 1960—1963
Distributions of wind direction at Rhein-Main-Airport in Frankfurt/Main (from hourly observations) 1960—1963

Abb. 54
Fig. 54



furter Raum nicht einmal in hinreichender Annäherung als allgemein erfüllt angesehen werden, weil starke lokale Einflüsse auf das Windfeld einwirken. Folglich wird eine Einschränkung auf geeignete Wetterlagen notwendig.

Die Auswahl erfolgt durch Vergleich der analogen Windregistrierungen von 3 Meßstellen, nämlich Flughafen Rhein-Main, Meteorologisches Institut Frankfurt und Zentralamt Deutscher Wetterdienst - Offenbach. Dabei wurde auf möglichst große Ähnlichkeit der Windstruktur geachtet. Diese Auswahl erbrachte 21 Prozent des vorgegebenen Zeitraumes als geeignet für die Modellrechnung.

Zur Auswahl der geeigneten Wetterlagen für die Anwendung des sog. Bremer-Modells im Frankfurter Raum genügt es nicht, lediglich einen Grenzwert der Windgeschwindigkeit als Auswahlkriterium festzusetzen, da lokale Zirkulationen in diesem Gebiet bei verschieden hohen Windgeschwindigkeiten auftreten können.

Die Auswahl geeigneter Wetterlagen aus dem synoptischen Wetterkartenmaterial ist nicht möglich, da der Wind im Rhein-Main-Gebiet stark vom Höhenwind abweichen kann (siehe Kap. 5.3.2.2).

Daher wurden die Windregistrierungen von 3 Stationen im Frankfurter Gebiet ausgeführt:

Frankfurt region, because strong local influences affect the wind field. Therefore it is necessary to limit the model to suitable weather conditions.

The selection is made by comparing analogous wind registrations of 3 measuring stations, i. e. Rhein-Main airport, the Meteorological Institute at Frankfurt and the Central Office of the German Weather Service at Offenbach. Wind structures had to be as similar as possible. The result of this selection was that 21 % of the assumed period were suitable for the model calculation.

When selecting suitable weather conditions for the application of the so-called Bremen model in the Frankfurt region, it is not enough just to establish a wind velocity limit as a selection criterion, because in this region there are local circulations with various wind velocities.

The selection of suitable weather conditions from the synoptic weather map material is not possible, because the wind in the Rhein-Main region may strongly differ from the high-altitude wind (see 5.3.2.2.).

Therefore, the winds were registered at three stations in the Frankfurt region:

1. Meteorologisches Institut, Frankfurt a. M., Feldbergstraße 47;
2. Deutscher Wetterdienst, Wetteramt Frankfurt-Offenbach/Main, Frankfurter Straße 135;
3. Deutscher Wetterdienst, Flugwetterwarte Rhein-Main.

Die Windregistrierungen dieser 3 Stationen bieten ein unterschiedliches Erscheinungsfeld:

Stärkste standortbedingte Störungen scheinen bei der Station in Offenbach aufzutreten.

Die Schwankungsbreite der Windrichtung beträgt bei den Stadtstationen im allgemeinen 60 bis 90° (360°-Skala), am Flughafen Rhein-Main 10 bis 20°.

Die starke Richtungsböigkeit an den Stadtstationen verwischt feinere Strukturen im Richtungsverlauf, die auf der Rhein-Main-Registrierung deutlich zu beobachten sind.

Gelegentlich ist eine kontinuierliche, langsame Richtungsänderung an Rhein-Main zu beobachten, während an der Stadtstation die Richtung zunächst beibehalten bleibt und sich hernach unstetig ändert.

Winde aus dem ersten Quadranten haben am Meteorologischen Institut eine stärkere Nordkomponente (20 bis 50° Linksdrehung) als an den beiden anderen Stationen, so daß zuweilen große Richtungsabweichungen zu beobachten sind.

Bei kräftigen Westwinden stimmen die Richtungsangaben an den 3 Stationen nahezu überein; positive wie negative Abweichungen zwischen Stadtstationen und Rhein-Main sind aber meist vorhanden.

Eine strenge Erfüllung der Voraussetzungen für das Ausbreitungsmodell (homogene Turbulenz, Stationsrarität) ist nicht möglich. Die Auswahl geeigneter Wetterlagen für die Anwendung des Modells wird deshalb mit einigen Hilfskriterien versucht:

1. Die Richtungsabweichungen zwischen den 3 Stationen (die das „Windfeld" kennzeichnen) sollen möglichst gering sein: δ (dd) $< 30°$ bis 40° (mittlere Windrichtung). Eine konstante Windrichtung kann nicht gefordert werden, sondern Richtungsänderungen werden zugelassen – sollen aber an den 3 Stationen gleichsinnig erfolgen. Die Winddrehung soll kontinuierlich ablaufen und klein bleiben: δ dd/Std. $< 30°$ bis 35°. Es wird nicht nur die mittlere Windrichtung berücksichtigt, sondern darauf geachtet, daß die Streuung um diesen Mittelwert möglichst klein und „gleichverteilt" (siehe Schwankungsbreite) bleibt.
2. Die geeignet erscheinende Wettersituation soll mindestens 5 Stunden andauern. Zur Ausbildung einer Rauchfahne von 20 bis 30 km Länge – die das Frankfurter Gebiet in West-Ost-Richtung ganz überstreichen könnte – würde in einer Strömung von $v \approx 1{,}5$ m/s ein Zeitraum von ca. 5 Stunden benötigt.

1. Meteorological Institute, Frankfurt/Main, Feldbergstr. 47,
2. German Weather Service, Weather Office Frankfurt-Offenbach/Main, Frankfurter Str. 135,
3. German Weather Service, Airport Weather Station Rhein-Main.

Wind registrations at these 3 stations reflect different phenomena:

The greatest local disturbances seem to be at the Offenbach station.

The wind direction varied at the city station in general by 60 to 90° (360° scale), at the Rhein-Main airport by 10 to 20°.

The heavy squalls at the city stations obliterated more delicate structures of the directions, which are clearly shown in the Rhein-Main airport record.

Occasionally a continuous slow change of direction could be observed at the Rhein-Main airport, while at the city station the direction remained the same in the beginning and changed irregularly later on.

Winds from the first square showed a stronger N component (20 to 50° lefthand turn) at the Meteorological Institute than at the two other stations, so that there were sometimes considerable differences of direction.

During strong W winds the directions registered at the 3 stations were almost equal; however, positive and negative differences between the city stations and the Rhein-Main airport do exist most of the time.

Strict adherence to the conditions for the diffusion model (homogeneous turbulence, rarity of stations) was not possible. The weather conditions for the application of the model were therefore selected with some auxiliary criteria:

1. The differences of direction between the 3 stations (marking the wind field) should be as small as possible: δ (dd) $< 30°$ to 40° (average wind direction). A constant wind direction cannot be required, changes of direction are admitted but should be coordinated between the 3 stations. The turning of the wind should be continuous and remain minor: δ dd/h $< 30°$ to 35°. Not only the average wind direction is to be taken into consideration, but arrangements should be made that departures from this average value remain as small and „evenly distributed" (see variation margin) as possible.
2. The weather situation which appears to be suitable is to last at least for 5 hours. The formation of a smoke trail of 20 to 30 km in length – which could drift over the whole Frankfurt region in a west-east direction – would require about 5 hours in a current of $v \approx 1.5$ m/sec.

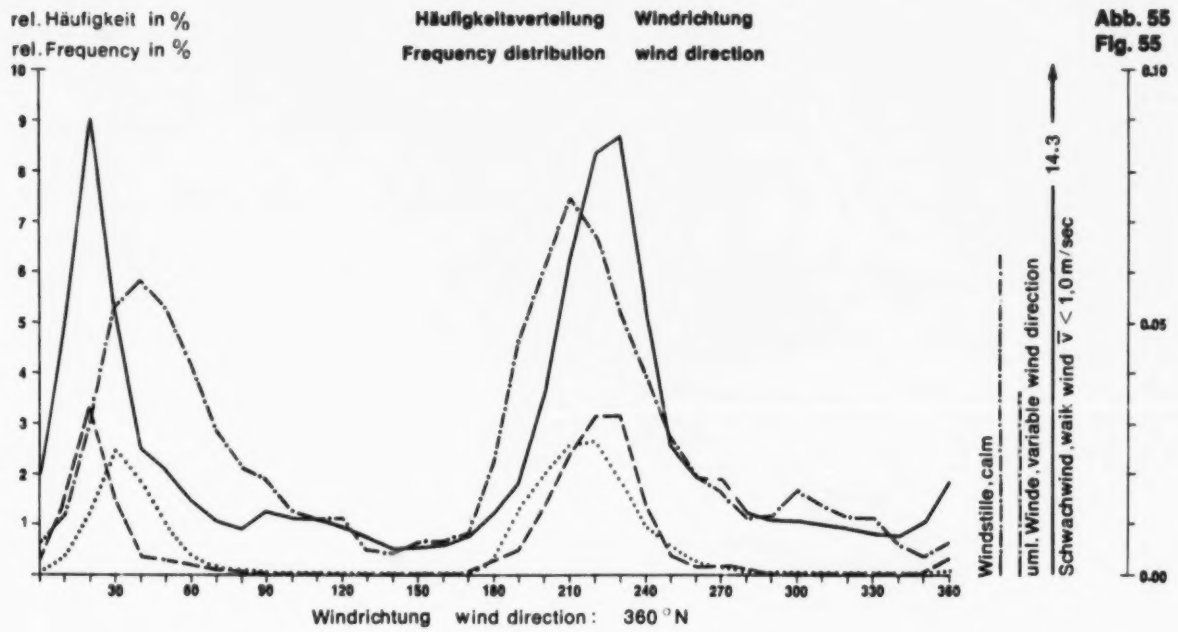


Abb. 55
Fig. 55

Meteorologisches Institut Frankfurt Meteorological Institute Frankfurt	Gesamtdaten Total data	Juli 1967 – April 1971
	Ausgewählte Termine Selected terms	
Flughafen Rhein-Main Airport Rhein-Main	Gesamtdaten Total data	Juli 1967 – Dezember 1970
	Ausgewählte Termine Selected terms	Juli 1967 – April 1971

3. Die angegebenen Kriterien sind nicht streng genug, zusätzlich muß die Beurteilung noch subjektiv bewertet werden.

4. Ferner bleibt einzuräumen, daß nicht die gesamte Ausbreitungsschicht, sondern nur das Bodenwindfeld berücksichtigt wird. Zwar liegen die Windmeßstellen im Stadtgebiet relativ hoch mit ca. 30 m ü. Gr., aber damit immer noch an der Untergrenze der Ausbreitungsschicht.

Der Vergleich zwischen Gesamtdatenkollektiv und ausgewählten Terminen (siehe Abb. 55 sowie Tab. III im Anhang) beweist, daß die Forderung nach einem möglichst homogenen Windfeld im Mittel zu einer Auswahl stärkerer Windgeschwindigkeiten führt. Die großen Schwankungen in den Verteilungen der ausgewählten Termine sollten nicht überraschen, weil außerhalb der bevorzugten Windrichtungen die Häufigkeiten so gering werden, daß ausgeglichene Mittelwerte nicht mehr zu erwarten sind.

Da bei der Auswahl geeigneter Termine recht strenge Auswahlkriterien angewendet wurden, muß geprüft werden, ob das Bremer Modell nicht auch für weitere Fälle anwendbar ist.

3. The criteria are not strict enough, in addition, the assessment has to be evaluated subjectively.

4. Moreover, it has to be admitted that not the whole diffusion stratum but only the wind field close to the ground has to be taken into consideration. Although the wind measuring points in the city are relatively high, i. e. 30 m above the ground, they are still at the lower limit of the diffusion stratum.

A comparison between the collective data and the periods chosen (see fig. 55 and table III in the Annex) proves that the requirement to keep the wind field as homogeneous as possible encourages the choice of greater average wind velocities. The fact that the selected periods vary greatly should not surprise, because outside the scope of the preferred wind directions the frequencies become so insignificant that balanced average values can no longer be expected.

Since very strict criteria have been applied for the selection of suitable periods, it should be examined whether the Bremen model cannot be used also for further cases.

5.4. Literatur/Literature:

(1) H. WACHTER, H. SCHARRER: „Die Regionalwindverteilung im Gebiet der Stadt Frankfurt am Main, Bericht d. Inst. f. Met. u. Geophysik der Universität Frankfurt/M., 1970.

(2) KLUG, W.: Ein Verfahren zur Bestimmung der Ausbreitungsbedingungen aus synoptischen Beobachtungen.
STAUB, Reinhaltung Luft 29 (1969) 143–147.

(3) FORTAK, H.: Mathematische Modelle zur Immissionsermittlung in Industriellen Ballungsgebieten. VDI-Bericht Nr. 149; VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1970.

6. Modell für die Luftqualitätsbestimmung

6.1. Einführung

In der Vergangenheit wurden Immissionsklimatologien für Städte und für die Umgebung von großen Industriekomplexen mit einem mathematisch-meteorologischen Vielquellen-Diffusionsmodell aus der Kenntnis des jeweiligen Emissionskatasters und der für die Gegend repräsentativen Statistik meteorologischer Ausbreitungsbedingungen simuliert. Es waren dies die Städte Bremen (1) und Düsseldorf sowie verschiedene geplante Großraffinerien im nordwest- und westdeutschen Flachland. Die dem verwendeten Modell zugrundeliegenden Annahmen sind bekannt (1).

Der Grund, der dazu führte, daß Immissionsklimatologien numerisch-modellmäßig simuliert wurden, war darin zu suchen, daß keine andere Methode in der Lage ist, auf der Basis von geplanten neuen Emittenten vorherzusagen, wie sich die Immissionssituation in dem betreffenden Gebiet durch diese neuen Emittenten verändern würde. Es lag deshalb nahe, daß die Methode auch ein besonderes Interesse bei der Regionalen Planungsgemeinschaft Untermain finden mußte, die zugleich federführend bei der Durchführung des NATO-CCMS Forschungsprogrammes ist. Leider sind die Bedingungen der Region Untermain vom Standpunkt der Transmissionsbedingungen wesentlich komplizierter als in denjenigen Fällen, für die das Modell ursprünglich konzipiert wurde. Es wirkt sich in der Region nicht nur die Barriere des Taunus, sondern auch das Auftreten von häufigen windschwachen und austauscharmen Wetterlagen hinderlich für die Anwendung des Modells aus.

Das ursprünglich geplante Modell für die Region, bestehend aus drei Untermodellen (1. bisheriges Modell für räumlich homogene meteorologische Bedingungen; 2. Modell für die topographisch gestörten Strömungssysteme der Region und für die darin ablaufenden Diffusionsvorgänge; 3. Modell für die Ausbreitung bei windschwachen und austauscharmen Wetterlagen), konnte in der zur Verfügung stehenden Zeit nicht voll entwickelt werden. Lediglich eine verbesserte Version des bisherigen Modells wurde bisher auf den Hauptteil der Region angewandt, d. h. es wurde Gebrauch gemacht von der „existing technology", so wie es bei den CCMS-Studien ursprünglich angestrebt worden war. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind der Gegenstand dieses Berichtes.

6.2. Durchführung der Modellrechnungen

6.2.1. Der Input von Statistiken meteorologischer Ausbreitungsparameter

Die Untersuchung von WACHTER und SCHARRER (2) läßt erkennen, daß die Häufigkeitsverteilungen der Windrichtungen an sieben im Gebiet der Stadt Frankfurt am Main vorhandenen Meßstellen einander sehr ähnlich sind (für den Gesamtzeitraum) und daß, wie zu erwarten, die Häufigkeiten von Windrichtungen pa-

6. Model for the determination of air quality

6.1. Introduction

Immission climatologies for cities and the environment of large industrial complexes have been simulated in the past by using a mathematical-meteorological multi-source diffusion model based on the knowledge of the emission register concerned and on the representative statistics of conditions of meteorological diffusion in the area. This was done for the cities of Bremen (1) and Düsseldorf as well as various planned large refineries in the plains of north-western and western Germany. The assumptions on which this model was based are known (1).

Immission climatologies were simulated on a numerical model because there is no other method of forecasting on the basis of planned new emittors, how the immission situation in the area concerned may change as a result of these new emittors. It was therefore to be expected that this method would find the special interest of the Regional Planning Association Untermain which is also the pilot agency for the implementation of the NATO-CCMS research programme. Unfortunately conditions in the Untermain region are much more complicated as far as transmission conditions are concerned than in the cases for which the model was originally designed. Not only the barrier of the Taunus mountains but also the frequent calm weather conditions with little air exchange in this region impeded the application of this method.

The originally planned model for the region, consisting of three sub-models (1. former model for locally homogeneous meteorological conditions; 2. model for topographically disturbed air current systems in the region and the diffusion processes within this system; 3. model for conditions of meteorological diffusion during calm weather conditions with little air exchange), could not be fully developed during the available time. Only an improved version of the former model has been applied so far to the main part of the region, i. e. the existing technology has been used, which was the original objective of the CCMS-studies. The results of this survey are the subject of this report.

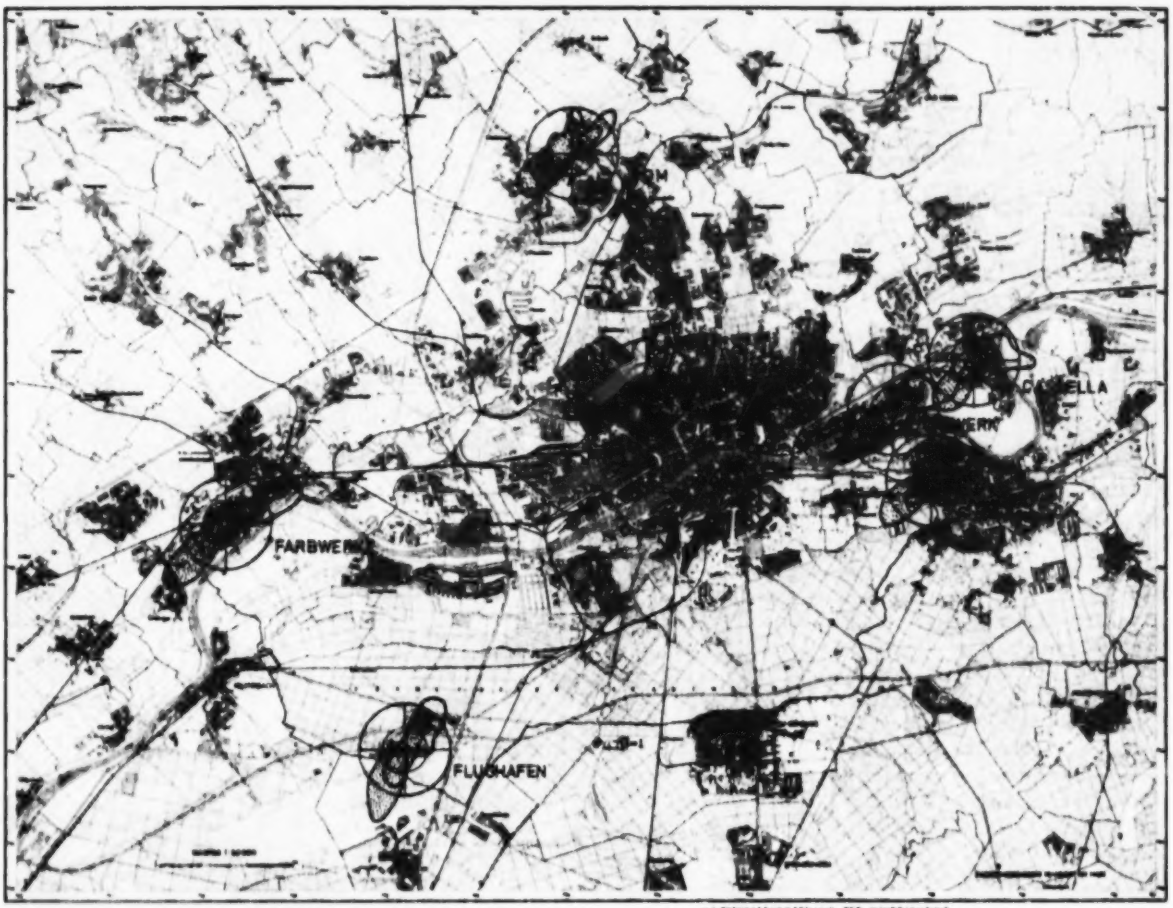
6.2. Implementation of model calculations

6.2.1. Input of statistics of meteorological diffusion parameters

The survey by WACHTER and SCHARRER (2) shows that the frequency of winds coming from one direction has been very similar (during the entire period) at seven measuring stations in the Frankfurt city area and that, as it had to be expected, the most frequent wind direction was parallel to the ridge of the Taunus

Abb. 56
Fig. 56

Häufigkeitsverteilung der Windrichtung an verschiedenen Stationen
Frequency distribution of wind direction at different stations



rallel zur Kammlinie des Taunus am größten sind. Erstere Feststellung deutet darauf hin, daß, ausgenommen windschwache Wetterlagen, für den Großteil der Zeit eines Jahres in erster Annäherung davon ausgegangen werden kann, daß das Windfeld homogen ist und parallel zum Taunus gerichtet ist (siehe Abb. 56).

Die Anwendung des bisherigen Modells auf die Region Untermain ist somit für einen Großteil der Wetterlagen vertretbar, bzw. stellt ein Experiment dar, das als erstes durchgeführt werden sollte, ehe sehr viel aufwendigere Modelle entwickelt und angewandt werden.

Bei der Erstellung der Statistik meteorologischer Ausbreitungsbedingungen wurde davon ausgegangen, daß die Windbeobachtungen des Meteorologischen Instituts (Feldbergstraße) als repräsentativ für die Region angesehen werden können. Die zur Erstellung der Statistik zusätzlichen synoptischen Beobachtun-

mountains. The first of the results mentioned above indicates that, except in conditions of calm weather, it can be approximately assumed that the windfield is homogeneous and runs parallel to the Taunus for the major part of the year (see fig. 56).

It therefore appears quite justified to apply the former model to the Untermain region in most weather conditions; and it is an experiment which should be implemented first, before developing and applying much more expensive models.

When preparing the statistics of the conditions of meteorological diffusion it was assumed that the wind survey by the Meteorological Institute (Feldbergstraße) can be considered as representative for the region. The additional synoptic observations (TURNER (3)) for the preparation of the statistics were made by the air-

gen (TURNER (3)) entstammten den Beobachtungen der Flugwetterwarte. Hierbei konnte davon ausgegangen werden, daß diese am Flughafen gewonnenen synoptischen Beobachtungen ebenfalls repräsentativ für die Region sind.

Die Analyse der Windgeschwindigkeitsbeobachtungen ohne Aufschlüsselung nach Ausbreitungsklassen, wiedergegeben in Abb. 57, legte eine Klasseneinteilung der Windgeschwindigkeiten der folgenden Art nahe:

Tab. 1:

Klassenmitte:	0,8	1,8	2,6	3,9	5,7	8,1	m/sec
Prozentsatz:	29	14	27	21	8	1	%

Hierbei trägt die Vergrößerung des Abstandes der Klassenmitten bei höheren Windgeschwindigkeiten dem Verhalten der GAUSS-Verteilung gegenüber der Änderung der Windgeschwindigkeit Rechnung. Schlüs-

port weather service. These synoptic observations made at the airport can also be considered as representative for the region.

The analysis of the air velocity survey, without breakdown by classes of diffusion, as shown in fig. 57, suggested the following classification of air velocities:

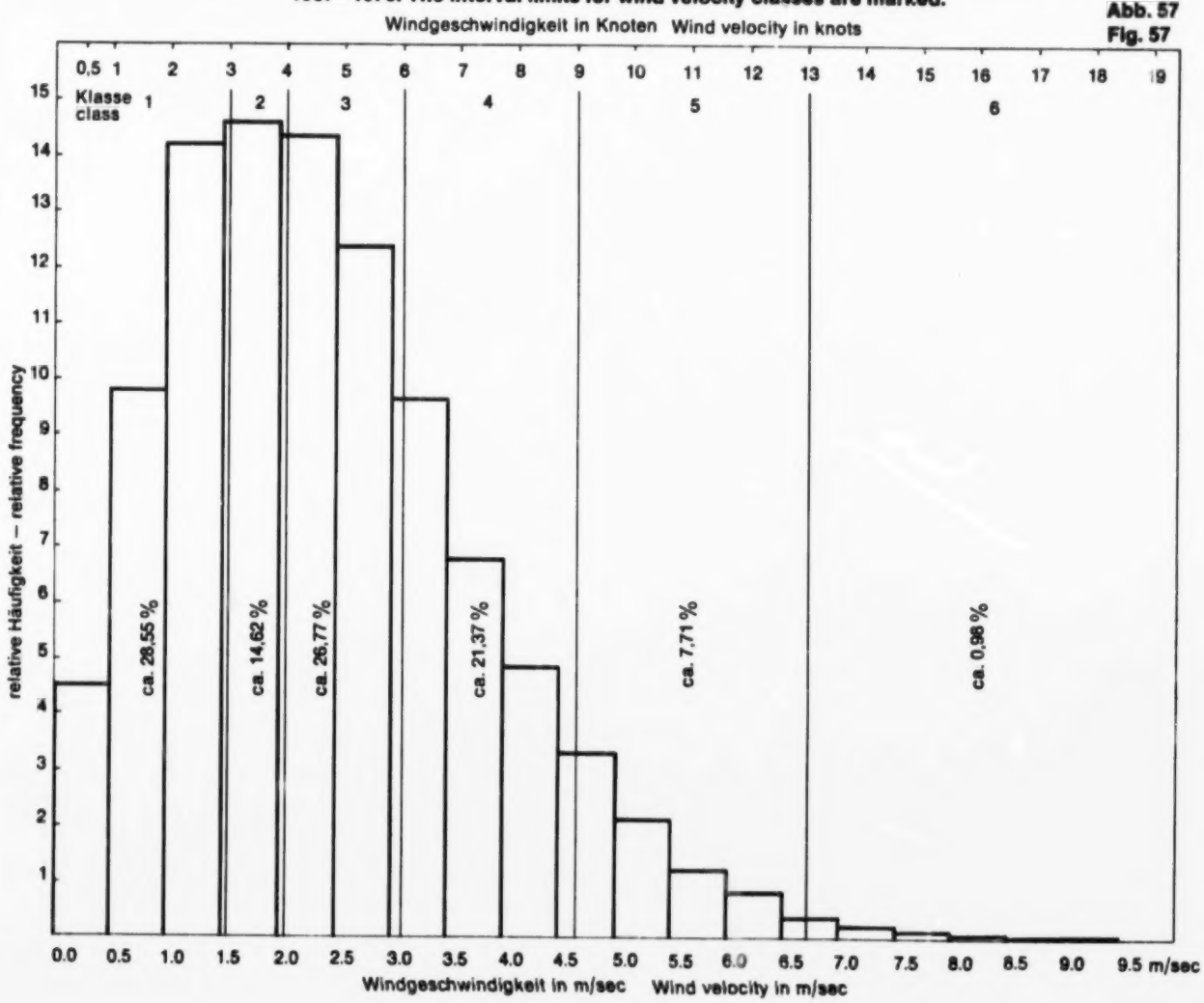
Table 1:

Class average:	0.8	1.8	2.6	3.9	5.7	8.1	m/sec
Percentage:	29	14	27	21	8	1	%

The increased distance of the class averages at higher wind speeds is in line with the reaction of the GAUSS distribution system to the change of the wind velocity. A breakdown of the wind speed according to diffusion

Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit am Institut für Meteorologie und Geophysik (Feldbergstrasse) 1967–1970. Die Intervallgrenzen der Windgeschwindigkeitsklassen sind eingezeichnet
Frequency distribution of wind velocity at the Institute for Meteorology and Geophysics (Feldbergstrasse) 1967–1970. The interval limits for wind velocity classes are marked.

Abb. 57
Fig. 57



seit man die Windgeschwindigkeit nach Ausbreitungsklassen auf, dann ergeben sich nach Abbildung 58 die typischen Einzelverteilungen, die eng mit dem TURNER'schen Klassifikationsschema verknüpft sind.

Interessant sind die nach Ausbreitungsklassen aufgeschlüsselten Windrichtungshäufigkeiten, die zeigen, daß die Windrosen für alle Ausbreitungsklassen gleiche Strukturen aufweisen, und zwar sowohl für den Gesamtzeitraum als auch für Sommer und Winter. Diese Tatsache erhärtet die Vermutung, daß das angewandte Modell in der Lage sein müßte, realistische Ergebnisse zu liefern. Offensichtlich reicht der Kaltluftabfluß des Taunus nicht bis zur Station des Meteorologischen Instituts (siehe Abb. 59 bis 62).

Ähnliches gilt für die nach Windstärken aufgeschlüsselten Windrosen der Abbildung 62.

6.2.2. Emissionskataster

Die Daten des Emissionskatasters wurden von der RPU (4) bereitgestellt. Die Hausbrandemission wurde nach bekannten Verfahren auf Flächenquadrate der Größe 500 x 500 m bezogen. Dabei wurde erstmals als

classes shows – as in fig. 58 – the typical individual air distribution results, which are closely connected with TURNER's classification scheme.

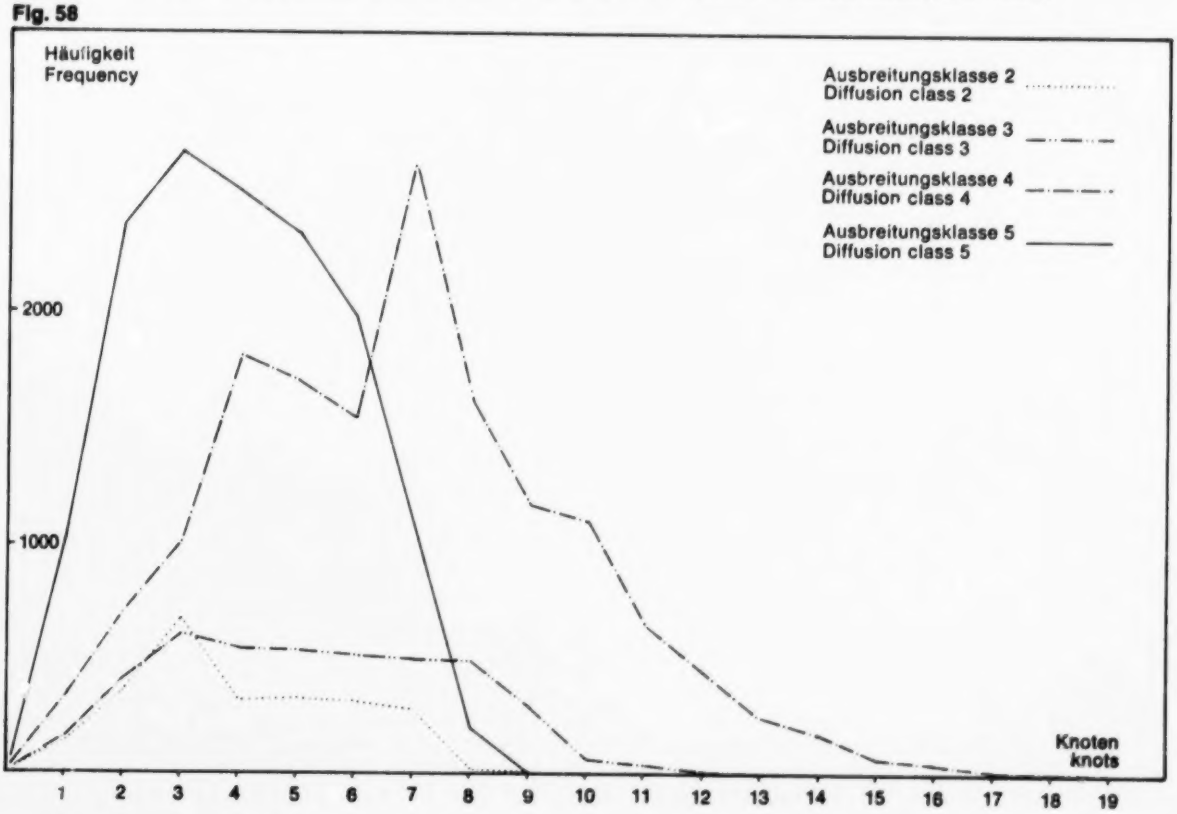
Interesting are the charts of wind frequency from one direction – broken down into diffusion classes – which show that the structure of wind roses is the same for all diffusion classes, both during the entire period and in summer and winter. This fact supports the assumption that the model applied should be adequate to provide realistic results. The cold air coming from the Taunus obviously does not reach the station of the Meteorological Institute (see fig. 59 to 62).

Something similar can be said concerning the wind roses shown in fig. 62 which are broken down according to wind velocities.

6.2.2. Emission inventory

The data of the emission register have been provided by the RPU (4). Domestic fuel emissions have been related, according to the usual procedure, to squares of 500 x 500 m. This register contains for the first time the

Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit für alle Ausbreitungsklassen – Jahresmittelwert (1967–1970)
Abb. 58 **Frequency distribution of wind velocity for all diffusion classes – annual mean (1967–1970)**
Fig. 58



Häufigkeitsverteilung der Windrichtung für die Ausbreitungsklassen 2, 3, 4, 5 — Jahresmittelwert (1967–1970)

Abb. 59
Fig. 59

Frequency distribution of wind direction for the diffusion classes 2, 3, 4, 5 – annual mean (1967–1970)

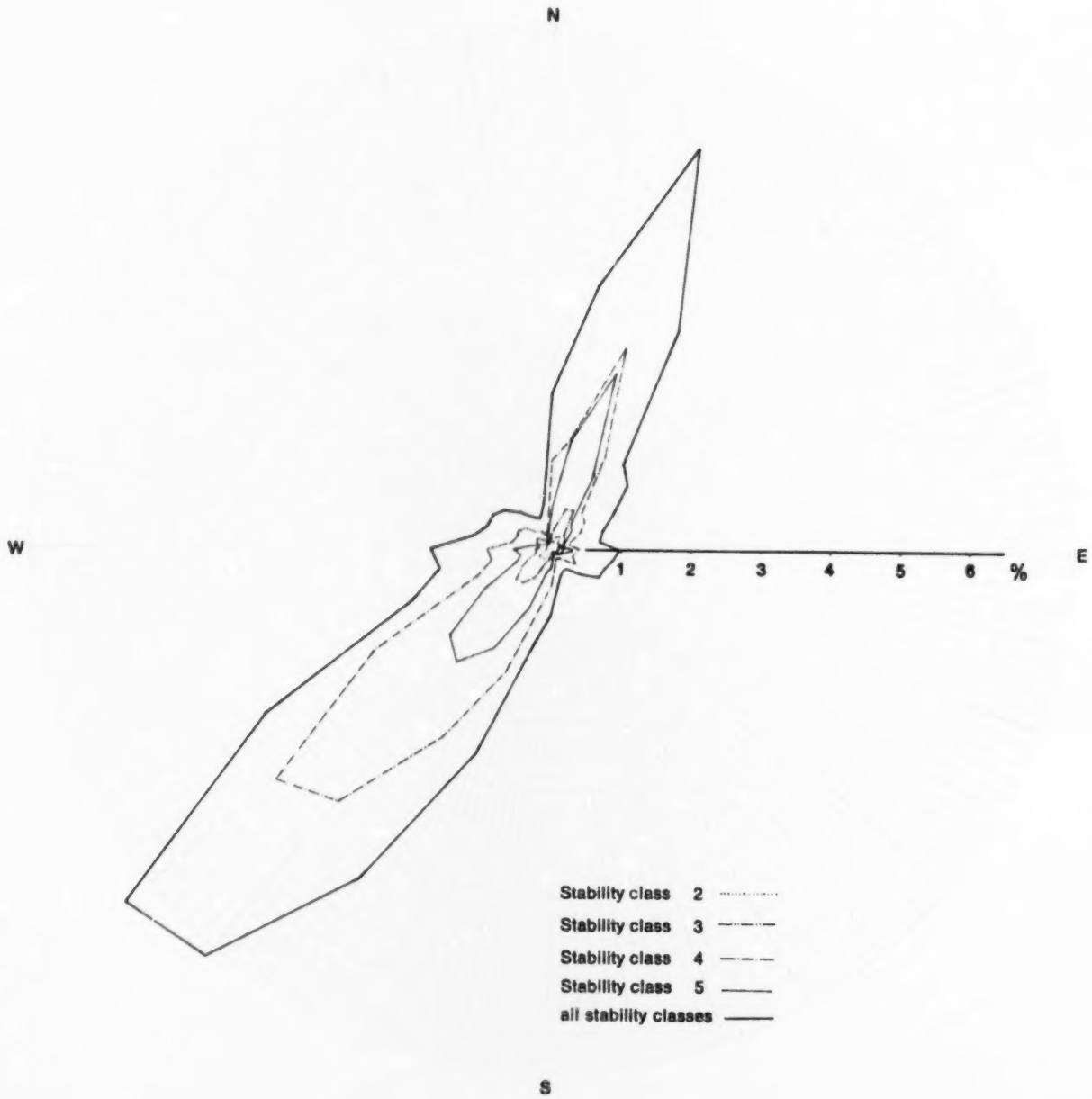
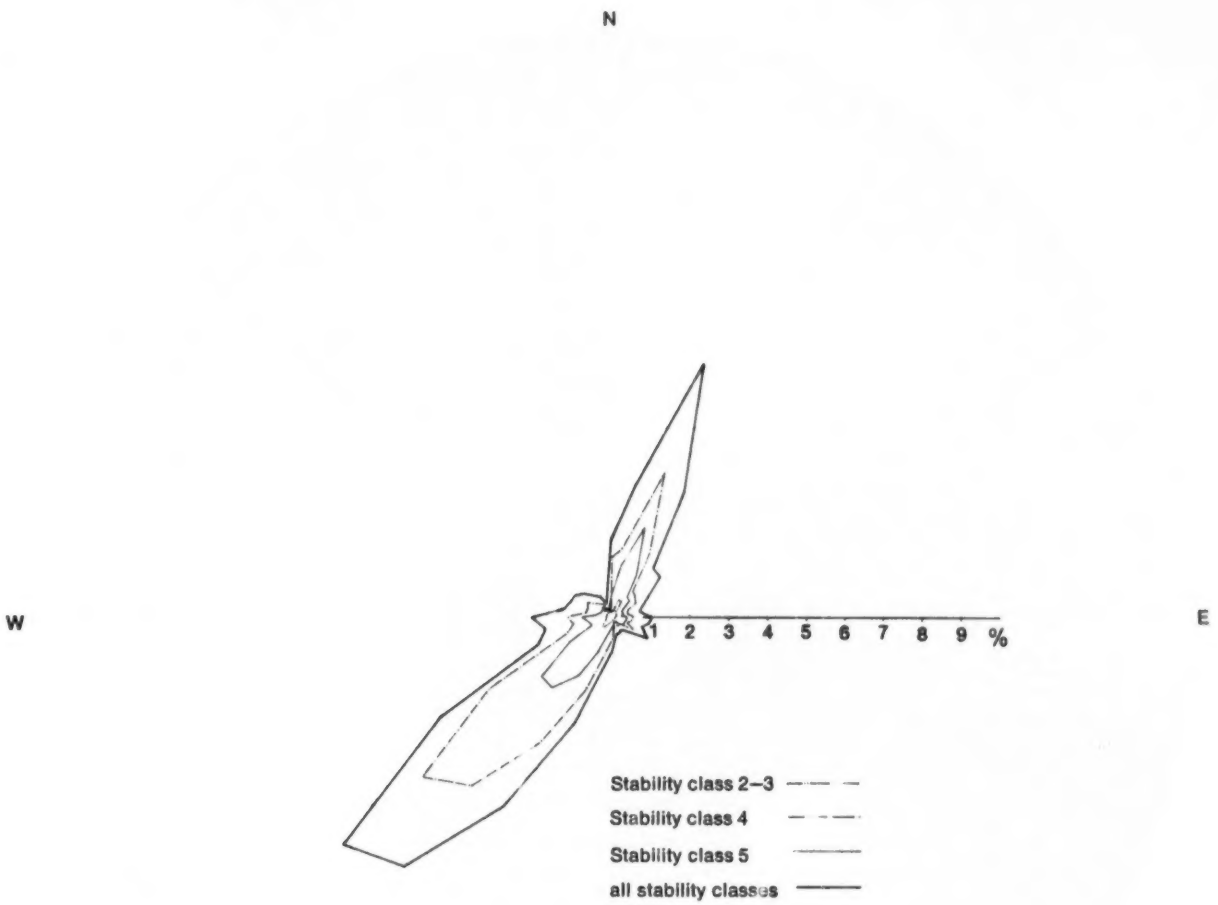


Abb. 60
Fig. 60

Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit für alle Ausbreitungsklassen – Jahresmittelwert (1967–1970) für die Heizperiode
Frequency distribution of wind velocity for all diffusion classes – annual mean (1967–1970) for the heating period

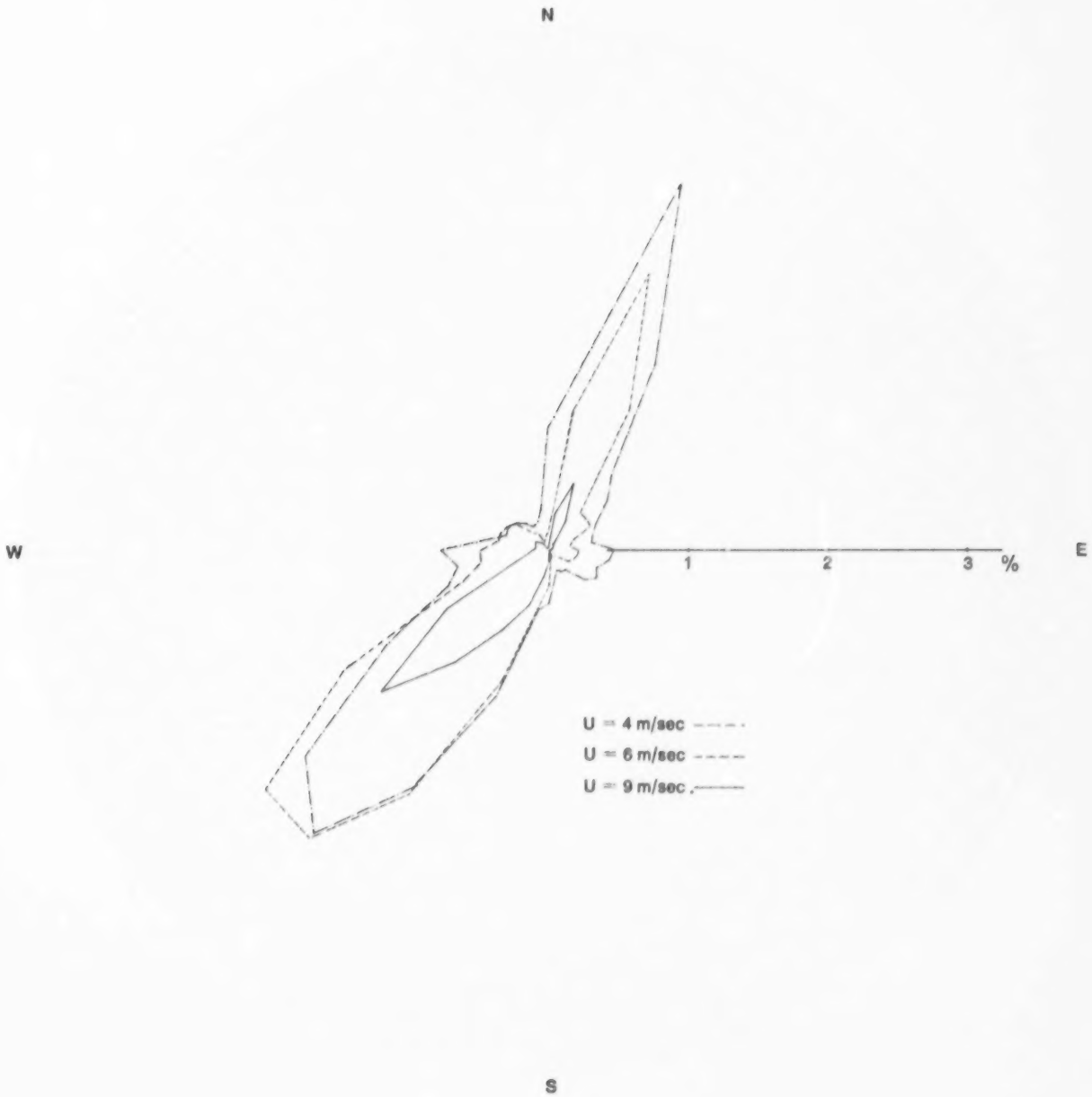


Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit für alle Ausbreitungsklassen, Jahresmittelwert (1967–1970) für die heizfreie Periode
Frequency distribution of wind velocity for all diffusion classes, annual mean (1967–1970) for the unheated period

Abb. 61
Fig. 61

Abb. 62
Fig. 62

Häufigkeitsverteilung der Windrichtung für alle Klassen der Windgeschwindigkeit – Jahresmittel (1967–1970)
Frequency distribution of wind direction for all classes of wind velocity – annual mean (1967–1970)



zusätzlicher Parameter die mittlere Emissionshöhe des Hausbrandes für jedes Gitterflächenelement angegeben. Tabelle 2 gibt die Verteilung der mittleren Emissionshöhen des Hausbrandes wieder, indem die den Höhen zugeordneten Anzahlen von Flächenelementen angegeben sind. Zusätzlich ist angegeben, welcher Prozentsatz der Gesamt-Hausbrandemission einem bestimmten Emissionshöhenbereich entstammt.

parameters of the average domestic fuel emission level for each grid square element. Table 2 shows the distribution of the average domestic fuel emission levels by indicating the number of square elements in relation to the levels. Moreover, it indicates the percentage of the total domestic fuel emission at certain emission levels.

Tab. 2:

Table 2:

Höhe der Emittenten	Hausbrand Domestic fuel		Kleine Emittenten Minor emission sources			Große Emittenten Major emission sources		
Level of emission source m	Anzahl d. Flächen number of areas	Emission emission %	Anzahl der Emittenten number of emission sources	Winter-Emission winter emission 10^{-2} kg/h	%	Anzahl der Emittenten number of emission sources	Winter-Emission winter emission 10^{-2} kg/h	%
1– 2	21	0,498	–	–	–	–	–	–
3– 4	–	–	1	0	0,0	–	–	–
5– 6	1	0,006	6	127	0,75	–	–	–
7– 8	1	0,000	23	534	3,16	3	635	0,05
9–10	23	0,335	38	865	5,07	2	489	0,04
11–12	521	32,006	34	892	5,29	9	2255	0,19
13	28	3,698	16	633	3,75	4	686	0,06
14	169	24,842	23	779	4,62	2	318	0,03
15	27	3,597	24	968	5,74	4	1048	0,09
16	4	0,749	27	1078	6,39	7	2177	0,19
17	–	–	16	586	3,47	3	1220	0,10
18	33	6,507	26	1001	5,93	7	1561	0,13
19	–	–	14	465	2,75	2	749	0,06
20	2	0,711	28	1013	6,01	8	2545	0,22
21	–	–	13	613	3,63	3	1134	0,10
22	43	13,654	17	457	2,71	6	903	0,08
23	–	–	8	277	1,64	4	581	0,05
24	9	2,874	18	709	4,20	3	411	0,04
25	20	10,525	22	936	5,60	10	6187	0,53
26	–	–	14	506	3,00	3	752	0,06
27	–	–	8	334	1,98	2	831	0,07
28	–	–	9	422	2,50	5	1197	0,10
29	–	–	3	81	0,48	4	1784	0,15
30	–	–	13	503	2,98	8	1556	0,13
31–32	–	–	13	631	3,74	5	992	0,08
33–34	–	–	6	227	1,35	10	1469	0,13
35–36	–	–	12	456	2,70	8	2681	0,23
37–38	–	–	5	181	1,07	4	2363	0,20
39–40	–	–	10	437	2,59	10	7203	0,62
41–42	–	–	2	82	0,49	6	8270	0,71
43–44	–	–	–	–	–	4	2520	0,22
45–46	–	–	4	269	1,60	16	46317	3,96
47–49	–	–	3	66	0,39	4	8810	0,75
≦ 50	–	–	20	735	4,36	69	1058619	90,61
	902	100,0	476	16863	100,0	235	1168263	100,0

An individuell erfaßbaren Quellen waren in der Region insgesamt 711 vorhanden. Wie früher schon, wurden diese Quellen in zwei Gruppen aufgeteilt: Quellen

711 individual emission sources have been found in total in the region. As before, these sources have been divided into two groups: sources with emissions

mit Emissionen kleiner bzw. größer als 1 kg SO_2/h. Die 476 sog. kleinen Emittenten (Emission kleiner als 1 kg/h) wurden später dem Hausbrand zugeordnet und gleichmäßig auf die Hausbrandemissionen des betreffenden Flächenelements verteilt. Die Gesamtemission der kleinen Emittenten betrug nur 1,4% von derjenigen der großen Emittenten und spielt somit im Gesamtbild der Emission nur eine untergeordnete Rolle.

Die Statistik der großen Emittenten zeigt eine ziemliche Gleichverteilung mit der Höhe, anders, als es z. B. in Bremen der Fall war.

Da es rechenzeitmäßig undurchführbar war, die mittlere Emissionshöhe jedes Flächenelements gemäß Tabelle 2 zu verwenden, wurden hierfür Klassen gewählt, die in Tabelle 3 wiedergegeben sind. Dabei sind die den Höhenklassenbereichen zugeordneten relativen Emissionen zusätzlich angegeben. Die absoluten Emissionsmengen der Summe aus Hausbrand- und Kleinemittenten-Flächenquellen sowie deren prozentuale Aufschlüsselung zeigt Tabelle 4.

below or above 1 kg SO_2/h. The 476 so-called minor emission sources (emission below 1 kg/h) were classified as domestic fuel sources later, and were distributed equally to the domestic fuel emissions of the square element concerned. Total emissions by the minor emission sources amounted to only 1.4% of those by the major sources and they thus play only a minor rôle in the total emission picture.

The statistics of the major emittors indicate an almost equal level of emissions, and this differs from the data obtained in Bremen.

Since the period available for calculation did not permit to use the average emission level of every square element according to table 2, classes were selected for this purpose which are shown in table 3. The relative emissions at the various levels have been indicated in addition. The absolute emission quantities totalling domestic fuel and minor emission sources and their breakdown in percentages are shown in table 4.

Tab. 3:

Table 3:

Emissions-Klasse Emission class	Höhenbereich Levels m	Repräsentative Höhe Representative level m	Relative Emissionen Relative emissions	
			Hausbrand Domestic fuel %	Kleine Emittenten Minor sources %
1	1–12	12	32,84	14,34
2	13–15	14	32,14	14,11
3	16–19	18	7,26	18,56
4	20–23	22	14,37	14,00
5	24–30	25	13,40	20,70
6	>31	40		18,29
			100,0	100,0

Tab. 4: Die Emissionsdaten für den Hausbrand bei einer Tagesmitteltemperatur von – 12° C

Table 4: The domestic fuel emission data are based an an average daily temperature of – 12° C.

Emissionen aus Flächenquellen in kg/h Emission sources in kg/h				Relative Emissionen aus Flächenquellen Relative emissions		
Höhenklassen Classes of levels	Hausbrand Domestic fuel	Kleinemittenten Minor sources	Summe Total	Hausbrand Domestic fuel	Kleinemittenten Minor sources	Summe Total
1	2689,85	24,18	2714,03	32,180	0,289	32,469
2	2632,05	23,80	2655,85	31,489	0,285	31,774
3	594,27	31,30	625,57	7,110	0,374	7,484
4	1176,51	23,60	1200,11	14,075	0,282	14,357
5	1097,39	34,91	1132,30	13,129	0,418	13,547
6		30,84	30,84		0,369	0,369
	8190,07	168,63	8358,7	97,98	2,02	100,00

Die im Emissionskataster angegebenen Emissionsdaten, die den Tabellen 2 bis 4 zugrundeliegen, stellen Mittelwerte für den Hausbrand während der Heizperiode dar, diejenigen der individuellen Emittenten wurden als Mittelwerte während der Heizperiode und während der heizfreien Periode getrennt berechnet.

Der Temperatur- und Tagesgangeinfluß auf die Emission des Hausbrandes wurde nach folgendem Verfahren ermittelt und bei den Rechnungen voll berücksichtigt. Zur Festlegung der Faktoren wird zunächst eine lineare Abhängigkeit der Emission von der Tagesmitteltemperatur angenommen mit den Bedingungen, daß für Temperaturen von 12° C und mehr die temperaturabhängige Emission verschwindet und daß der Mittelwert beim Mittelwert des Kollektivs $\overline{T} < 12°$ C ausgeworfen wird. Daraus ergibt sich die folgende Formel für die Temperaturabhängigkeit der Emission

$$Q = Q_0\, a_T \quad \text{mit } a_T = 0{,}147\,(12 - \overline{T}),$$

die auch durch Immissionsmessungen belegt werden kann.

Es wurde eine Tabelle der stündlichen Faktoren a_T der Emission als Funktion der Tagesmitteltemperatur aufgestellt, in der drei Punkte berücksichtigt wurden:

1. Bei einer Tagesmitteltemperatur von −12° C wird die Maximalleistung der Heizungen voll ausgeschöpft, so daß der Tagesgang verschwindet.
2. Der Emissionswert für $\overline{T} = -12°$ C wird auch für höhere Temperaturen in den morgendlichen Maxima nicht überschritten.
3. Der Verlauf der Faktoren entspreche bei mittleren Temperaturen etwa den im Emissionskataster Köln (5) angegebenen Werten.

The emission data indicated in the emission register, on which tables 2 to 4 are based, are average data for domestic fuel during the heating period; those of individual emission sources have been calculated separately as average data during the heating and the non-heating periods.

The influence of temperature and daily changes on the domestic fuel emissions has been ascertained by using the following procedure, and full account of the influence has been taken in the calculations. When establishing the factors it was assumed first that there is a linear dependence of the emissions on the average daily temperatures under the condition that at temperatures of 12° C and more the emission depending on temperature will disappear and that the average value will be obtained from the average collective value $\overline{T} < 12°$ C. The resulting formula for the emission's dependence on temperature is

$$Q = Q_0\, a_T \quad \text{with } a_T = 0.147\,(12 - \overline{T})$$

which can be proved also by immission measurements.

A tabulation of the hourly emission factors a_T as the function of the average daily temperature has been established in which three points have been taken into consideration.

1. At an average daily temperature of −12° C the maximum heating capacity is fully used so that daily changes no longer occur.
2. The emission value for $\overline{T} = -12°$ C will not be exceeded, not even for higher temperatures during the morning maxima.
3. The development of the factors at average temperatures is about the same as that shown in the Emissionskataster Köln (5).

Tagesgangfaktoren der Emission als Funktion der Tagesmitteltemperatur **Tab. 5:**

Daily emission factors as a function of average daily temperatures **Table 5:**

$\overline{T}$/h	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
−12	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.	1.
−10	.9	.9	.95	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.	.9
− 8	.9	.9	.95	1.15	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.0	.95	.9
− 6	.8	.8	.9	1.25	1.15	1.1	1.1	1.1	1.1	1.	.9	.8
− 4	.75	.75	.9	1.35	1.15	1.12	1.11	1.1	1.12	1.	.9	.75
− 2	.70	.70	.85	1.45	1.2	1.12	1.11	1.12	1.15	1.	.9	.7
0	.65	.65	.85	1.55	1.25	1.15	1.15	1.15	1.12	.98	.9	.65
2	.6	.6	.65	1.65	1.30	1.2	1.15	1.15	1.2	1.	.9	.6
4	.53	.53	.6	1.75	1.35	1.2	1.15	1.15	1.3	1.	.9	.54
6	.5	.5	.55	1.85	1.45	1.1	1.	1.1	1.5	1.1	.9	.5
8	.5	.5	.5	1.95	1.45	1.1	.8	1.1	1.6	1.1	.9	.5
10	.3	.3	.5	2.05	1.5	1.1	.8	1.1	1.8	1.1	.95	.5
12	.1	.1	.5	2.15	1.55	1.0	.8	1.	2.	1.3	1.	.5

Die Temperaturfaktoren a_T und Tagesgangfaktoren a_D müssen die Bedingung erfüllen, daß die Summe der Produkte gleich der Summe der verwendeten Zeitintervalle ist:

$$\frac{1}{N} \sum_{1}^{N} a_T \, a_D = 1.$$

Aus der Koppelung der Meteorologischen Größen mit den Emissionsfaktoren ergab sich folgende Tabelle:

The temperaturefactors a_T and the daily change factors a_D have to meet the condition that the sum of products is equal to the sum of the time intervals used:

$$\frac{1}{N} \sum_{1}^{N} a_T \, a_D = 1.$$

The following table resulted from the coupling of meteorological data with the emission factors:

Tab. 6: **Prozentsätze der Winter-Emission bei Ausbreitungsklassen 2 – 5 nach TURNER**
(4146 Fälle, 1. 4. 70 – 31. 3. 71)

Table 6: **Winter emission percentages for diffusion classes 2 – 5 according to TURNER**
(4146 cases, 1 April 1970 – 31 March 1971)

AK Diffusion class	mit Tagesgang With daily changes	ohne Tagesgang Without daily changes	nur Meteorologie (AK) ohne Temperatur Meteorology only (AK) without temperature
2	5,12 %	4,56 %	3,8 %
3	8,56 %	7,43 %	6,63 %
4	71,05 %	69,95 %	74,24 %
5	15,26 %	18,06 %	15,32 %

Damit verringert sich die Emission bei stabilen Ausbreitungsbedingungen um ca. 15 %, wenn der Tagesgang berücksichtigt wird.

When the daily changes are taken into consideration the emission is reduced by about 15 % under stable conditions of diffusion.

Bei der Berechnung der immissionsklimatologischen Größen wird der kombinierte Temperatur-Tagesgangeinfluß wie folgt berücksichtigt: Für jede meteorologische Messung wird die entsprechende Tagesmitteltemperatur bestimmt und mit obiger Formel der Temperaturfaktor berechnet. Aus Tabelle 5 ergibt sich mit der Uhrzeit und der Tagesmitteltemperatur der Tagesgangfaktor, der mit dem Temperaturfaktor multipliziert, die relative Emission zu diesem Zeitpunkt bestimmt.

When calculating the climatological immission data the combined influence of temperature and daily changes have been taken into consideration as follows: For each meteorological measurement the average daily temperature is determined, and the temperature factor is computed using the formula mentioned above. Table 5 shows together with the time of the day and the average daily temperature the daily change factor which, multiplied with the temperature factor, determines the relative emission at that time.

Die relative Emission hat einen Schwankungsbereich von 0 bis 3,35. Deshalb werden 7 Klassen zu 0,5 gebildet.

The relative emission has a fluctuation margin of 0 to 3.35. Therefore 7 classes of 0.5 each have been created.

Tab. 7: Häufigkeitsverteilung der Emmissionsklassen

Emissionsfaktor	relative Häufigkeit (%)	Emissionsklasse
,25	27,3	1
,75	29,2	2
1,25	20,9	3
1,75	11,6	4
2,25	5,3	5
2,75	4,9	6
3,25	,9	7

Table 7: Frequency distribution of emission classes

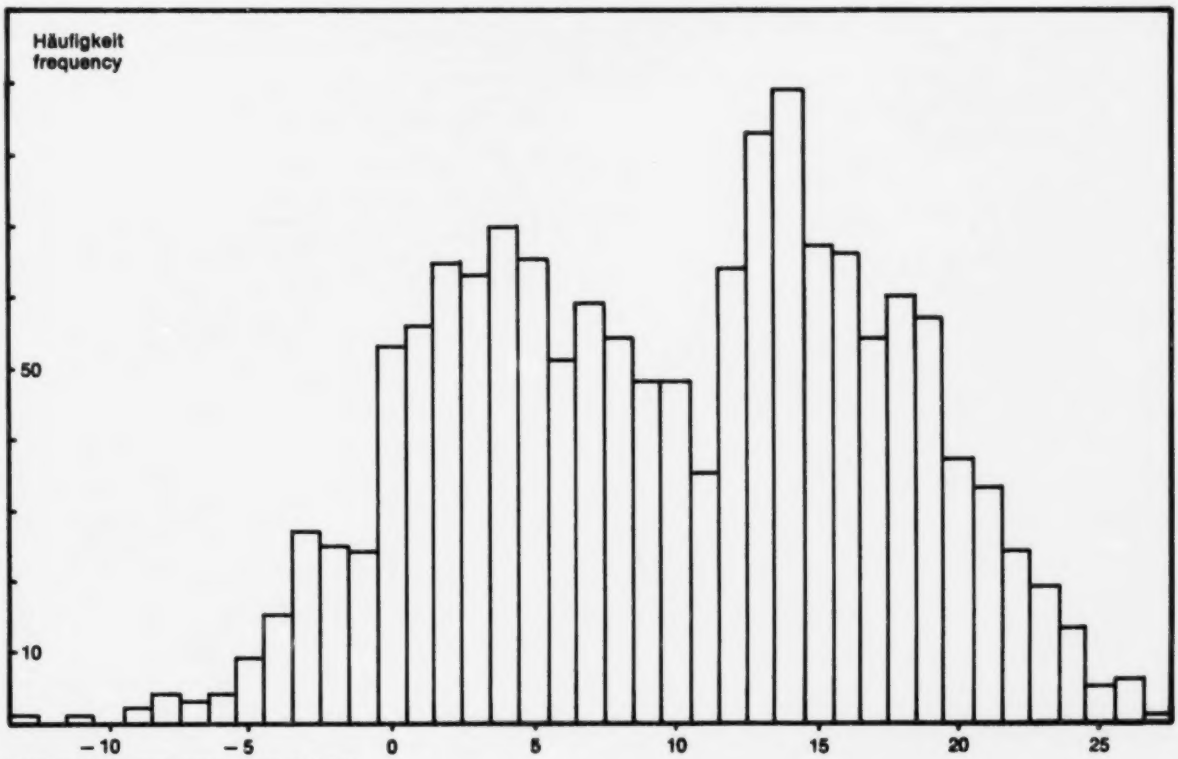
Emission factor	Relative frequency (%)	Emission class
.25	27.3	1
.75	29.2	2
1.25	20.9	3
1.75	11.6	4
2.25	5.3	5
2.75	4.9	6
3.25	.9	7

Die für Frankfurt benötigte Häufigkeitsverteilung der Tagesmitteltemperaturen ist in Abbildung 63 wiedergegeben.

The frequency distribution of average daily temperatures required for Frankfurt is shown in fig. 63.

Häufigkeitsverteilung der Tagesmitteltemperatur (1967–1970)
Frequency distribution of daily mean temperature (1967–1970)

Abb. 63
Fig. 63



6.2.3. Die Struktur des mathematischen Modells

Eine vollständige Beschreibung des Rechenablaufs in Form eines Flußdiagramms findet sich in Abbildung 64.

Die linke Seite betrifft den meteorologischen Input, die rechte den Input an Emissionen. Beides fließt in die Berechnung der sog. Grundfelder mit Hilfe des Modells und liefert das sog. Immissionskataster. Schließlich ist weiterhin angegeben, welche statistischen Kenngrößen für jeden Gitterpunkt des Feldes berechnet wurden. Damit ist die Simulation der Immissionsklimatologie durchgeführt.

6.3. Ergebnisse

Die folgenden Karten 26 bis 31 stellen Karten der Mittelwerte der Immission sowie der I_2-Werte (nach STRATMANN) dar, und zwar getrennt für das Gesamtjahr, die Heizperiode (Winter) sowie für die heizfreie Periode (Sommer). Die Einheit des Mittelwertes ist $\mu g/m^3$, diejenige des I_2-Wertes 10 $\mu g/m^3$. In den Abbildungen 65 bis 70 werden die einzelnen Werte in 500 x 500 - Raster dargestellt.

6.2.3. The structure of the mathematical model

Fig. 64 gives a complete discription of the calculation in the form of a flow diagram.

The left side concerns the meteorological input, the right side the emission input. Both are combined in the calculation of the so-called basic squares using the model, and the so-called immission register is provided in this way. Finally it is indicated which statistical index items have been calculated for each grid reference point of the square. This completes the simulation of the immission climatology.

6.3. Results

The following maps 26 to 31 are charts of the average immission data and the I_2-data (according to STRATMANN), shown separately for the entire year, the heating period (winter) and the non-heating period (summer). The average value unit is $\mu g/m^3$, the I_2-value unit is 10 $\mu g/m^3$. Fig. 65 to 70 illustrate the single values in the 500 x 500 m squares.

Abb. 64
Fig. 64

Untermain Immissions Modell

Meteorologische Daten (1.1.67-31.12.70) Deutscher Wetterdienst, Wolken, Frankfurt/M, Flughafen Daten, Magnet Band
Institut für Meteorologie und Geophysik, Frankfurt/M, Wind- u. Temperaturdaten von Zentralstation, Feldbergstrasse

Häufigkeiten der Kombinationen aus:
1. Stabilitätsklassen (AK) nach TURNER
2. Windgeschwindigkeitsklassen (UK): (kn)

	U≤0	0<U≤3	3<U≤4	4<U≤6	6<U≤9	9<U≤13	U>13
UK	1	2	3	4	5	6	

3. Windrichtungsklassen (φ_K):
36 Klassen φ_K zu 10° (bei Einzelemittenten 180 Klassen zu 2°)

Berechnet 541-37=504 Steuerzahlen mit Häufigkeiten. Für den Zeitraum 1.1.67-31.12.70 sind 35039 Messungen vorhanden. Davon werden 21525 mit U > 3 kn in der Rechnung verwendet.

Tagesgang-Temperaturklassen (α_K):
Temperaturfaktor α_{T_1}= 0.147 (12-TT), Tagesgangfaktor α_D nach dem Tagesgang von Emission $\alpha = \alpha_{T_1} \cdot \alpha_D$

α	≤0.5	1.0	1.5	2.0	≤2.5	≤3.0	≤3.5
α_K	1	2	3	4	5	6	7

Im Sommer α=0, α_K=8

Emissionskataster
711 Einzelemittenten — Technisches Überwachungsamt Kassel, Ing. Werthof, Magnet Band — Hausbrand — Landesinnungsverband des Schornsteinfegerhandwerks Ing. Kramer — Hessische Zentrale für Datenverarbeitung

Modelldaten: Einzelemittenten. Mittlere Emissions (Sommer, Winter Qw) Rauchgastemperatur, Austrittsgeschwindigkeit, Schornsteinlage, -höhe, -durchmesser

Häufigkeitsverteilung der relativen Emissionen und Emissionshöhen, Einteilung in 5 Höhenklassen

Einarbeitung der Kleinemittenten. Es ergeben sich 6 Felder für H=12, 14, 18, 22, 25, 40 Meter

Aussortieren der Emittenten mit Qw < 1 kg/h

Emissionsdaten von 235 Einzelemittenten

Emissionsdaten für 6 Felder mit insgesamt 1024 Flächenquellen

Modellrechnung:
Lauf 1. Flächenquellen
Lauf 2. Einzelemittenten a) temperaturabhängig b) temperaturunabhängig
> Grundfelder

Immissionsgrundfelder, (5x45x45 Punkte) der Einzelemittenten ($\varphi, \varphi \pm 2^0, \varphi \pm 4^0$). Temperaturabhängig, -unabhängig in je 30 Bit eines Wortes. CP-Zeit 9.6 h

Immissionsgrundfelder (45x45 Punkte) der Flächenquellen für 504 Steuerzahlen. CP-Zeit 3 h.

Immissionsklimatologie: Rechnungen für Winter, Sommer, Jahresmittelwerte
I_1-Wert, $I_1 = \bar{x} + \Delta\bar{x}(P=97.5\%)$, $\Delta x = S_{x_i>\bar{x}} \cdot t$, $t=2$
I_2-Wert, $I_2 = \bar{x} + \Delta x(P=97.5\%)$, $\Delta\bar{x} = S_{x_i>\bar{x}} \cdot t/\sqrt{2z}$ für $x_i > \bar{x}$ $S_{x_i>\bar{x}} = \pm \sqrt{\frac{2\sum (\bar{x}-x_i)^2}{2z-1}}$
x ist Einzelwert, $\bar{x}$ ist arithmetischer Mittelwert, z ist Zahl der Einzelwerte oberhalb x. Überschreitungshäufigkeiten. CP-Zeit 2.3 h. (Cyber 72, CDC)

Lower Main Immisson Model

Meteorological data (1.1.67-31.12.70)
German Weather Service, clouds, Frankfurt/M, Airport data, magnet band
Institute for Meteorology and Geophysics, Frankfurt/M, wind and temperature data, of the central station, Feldbergstrasse

Frequency combination out of:
1. stability classes (AK) by TURNER
2. wind velocity classes (UK): kn

	U≤0	0<U≤3	3<U≤4	4<U≤6	6<U≤9	9<U≤13	U>13
UK	1	2	3	4	5	6	

3. wind direction classes (φ_K):
36 classes φ_K to 10° (at single emittents 180 classes at 2°)

Calculated 541-37=504 controlfigures with frequencies. For the period 1.1.67-31.12.70 35039 measurements are available. 21525 out of these are used with U > 3 in the calculation.

Diurnal variation temperature classes (α_K):
temperature coefficient α_{T_1}=0.147 (12-TT), diurnal variation coefficient α_D after the diurnal variation of emission $\alpha = \alpha_{T_1} \cdot \alpha_D$

α	≤0.5	1.0	1.5	2.0	≤2.5	≤3.0	≤3.5
α_K	1	2	3	4	5	6	7

during summer α=0, α_K=8

Emission inventory
711 single emittents — Technical Supervision Board, Kassel, Eng. Werthof, magnet band — residential combustion — Association of Guilds of Chimney Sweeper Trade Eng. Kramer — Hessian Center for Data Processing

Model data: single emittents. mean emission (summer, winter Qw), flue gas temperature, exit velocity, chimney's location, height, and diameter

Frequency distribution of relative emissions and emision height. Division into 5 height classes.

Elimination of emittents with Qw < 1 kg/h

Insertion of small emittents 6 fields result for H=12, 14, 18, 22, 25, 40 Meter

Emission data of 235 single emittents

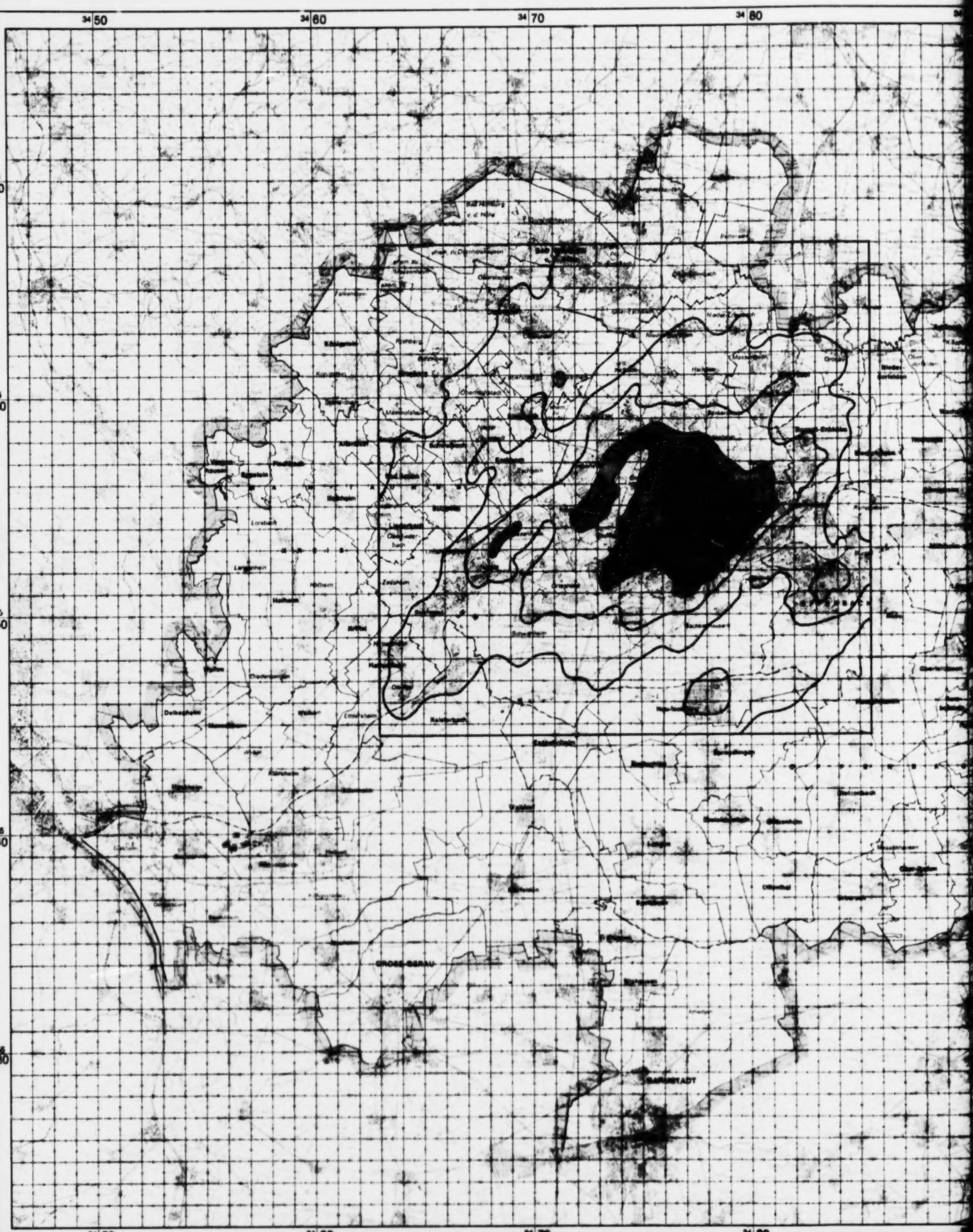
Emission data for 6 fields with totally 1024 area sources

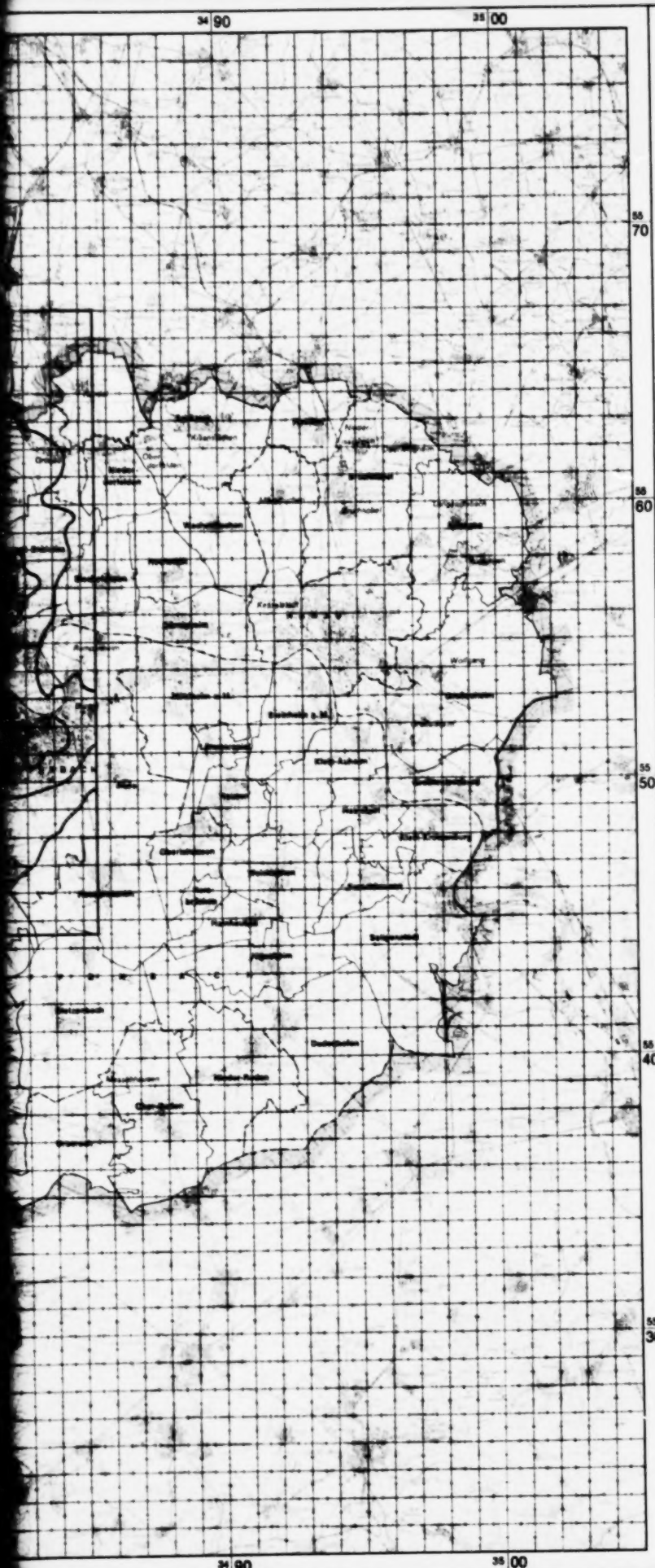
Model calculation:
way 1. area sources
way 2. single emittents a) dependent on temperature b) independent of temperature
> ground fields

Immission ground fields(5x45x45 points) of single emittents($\varphi, \varphi \pm 2^0, \varphi \pm 4^0$). Dependent on temperature, independent of temperature in each 30 bits of a word. CP-time 9.6 h.

Immission ground fields, (45x45 points) of area sources for 504 control figures. CP-time 3 h.

Immission climatology: calculations for summer, winter, annual mean value
I_1-value, $I_1 = \bar{x} + \Delta\bar{x}(P=97.5\%)$, $\Delta x = S_{x_i>\bar{x}} \cdot t$, $t=2$ for $x_i > \bar{x}$ $S_{x_i>\bar{x}} = \pm \sqrt{\frac{2\sum (x-x_i)^2}{2z-1}}$
I_2-value, $I_2 = \bar{x} + \Delta x(P=97.5\%)$, $\Delta\bar{x} = S_{x_i>\bar{x}} \cdot t/\sqrt{2z}$
x=single value, $\bar{x}$=arithmetical mean value, z=number of single values above x. Transgression frequencies. CP-time 2.3 h. (Cyber 72, CDC)


3450
3460
3470
3480
5
0
5
10
5
10
5
10
5
30
Lorsbach
Langenhain
Hofheim
Zeilsheim
Sossenheim
Eschborn
Dreieichenhain
Langen
Dietzenbach
Offenbach
Neu-Isenburg
Sprendlingen
Rodgau
Seligenstadt
GROSS-GERAU
DARMSTADT



Karte 23
Map 26

Jahresmittelwert der SO_2-Konzentrationen
für den Zeitraum 1970–1971 (meteorologische Daten 1967–70)
Annual mean of SO_2-concentrations
for the period 1970–1971 (meteorological data 1967–70)

SO_2 µg/m³

- 0–40
- 40–80
- 80–120
- 120–140
- über 140

Grenze des Untersuchungsgebietes
Border of the investigation area

Landesgrenze
State border

Kreisgrenze
District border

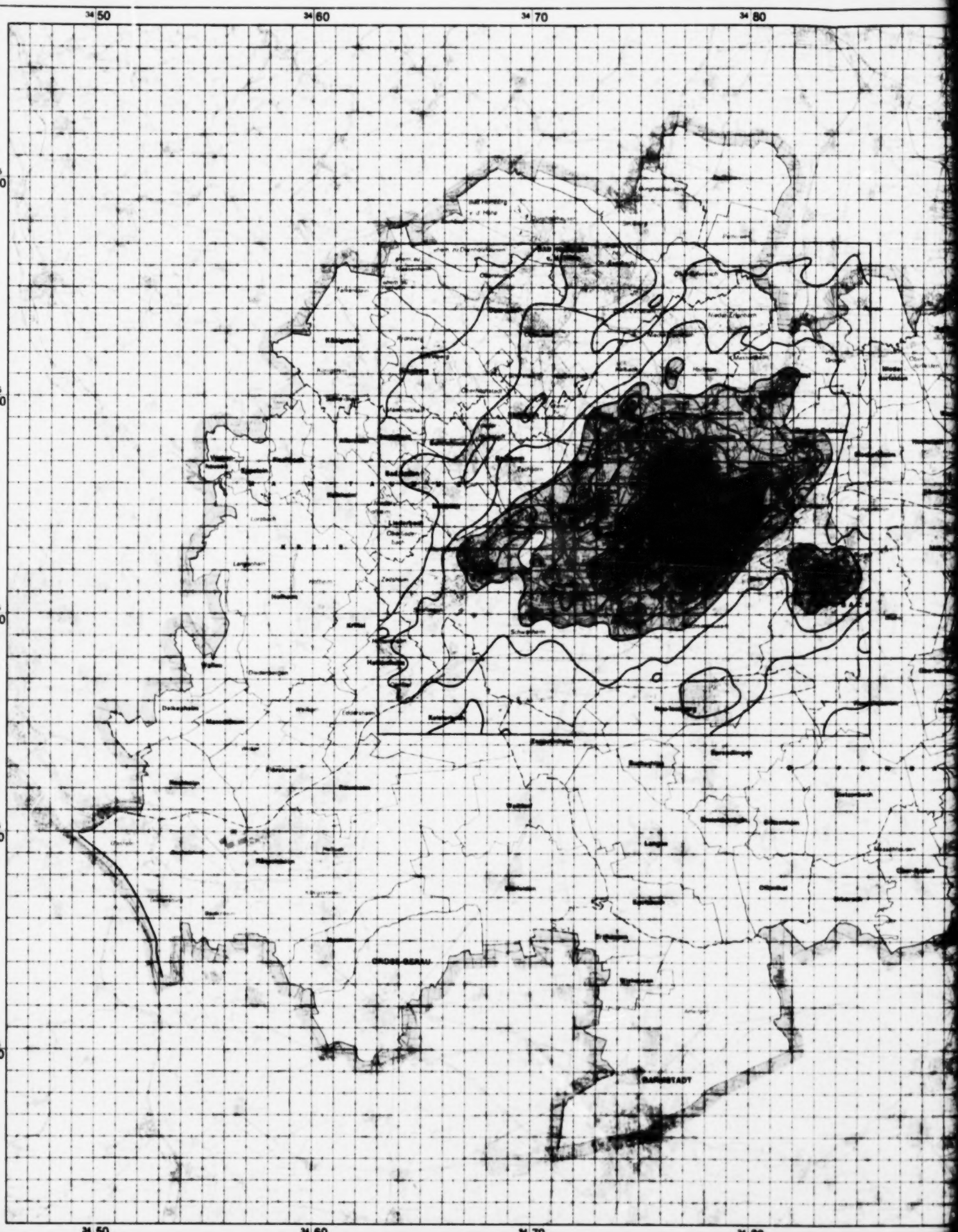
Gemeindegrenze
Community border

Ortsteilgrenze
Quarter border

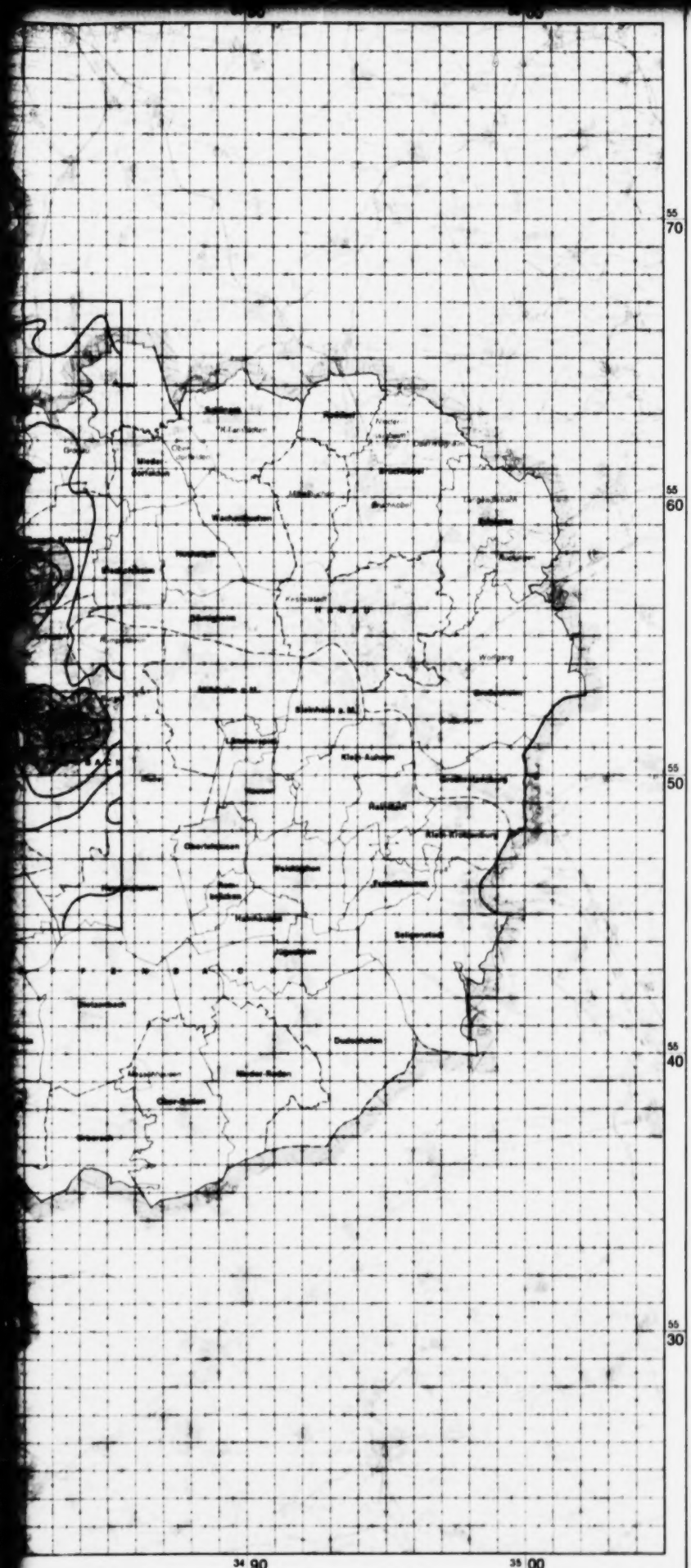
4 km²
1

Maßstab, Scale 1 : 200 000

0 2 4 6 8 10 12 km


34 50
34 60
34 70
34 80
GROSS-GERAU
DARMSTADT

Jahresmittelwert der SO_2-Konzentrationen für die Heizperiode 1970–1971 (meteorologische Daten 1967–70)
Annual mean of SO_2-concentrations for the heating period 1970–1971 (meteorological data 1967–70)



SO_2 µg/m³

- 0–40
- 40–80
- 80–140
- 140–200
- über 200

Grenze des Untersuchungsgebietes
Border of the investigation area

Landesgrenze
State border

Kreisgrenze
District border

Gemeindegrenze
Community border

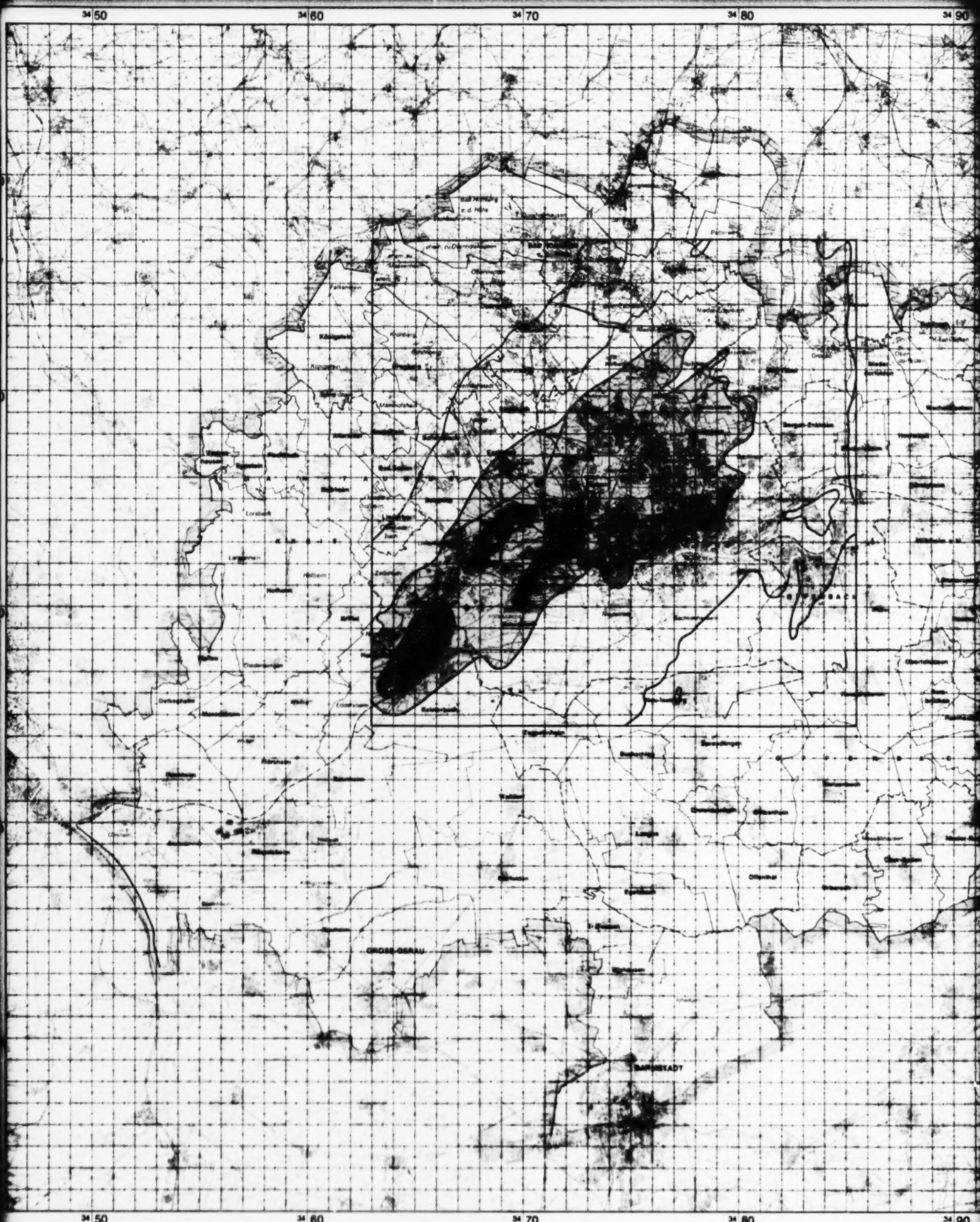
Ortsteilgrenze
Quarter border

4 km² / 1

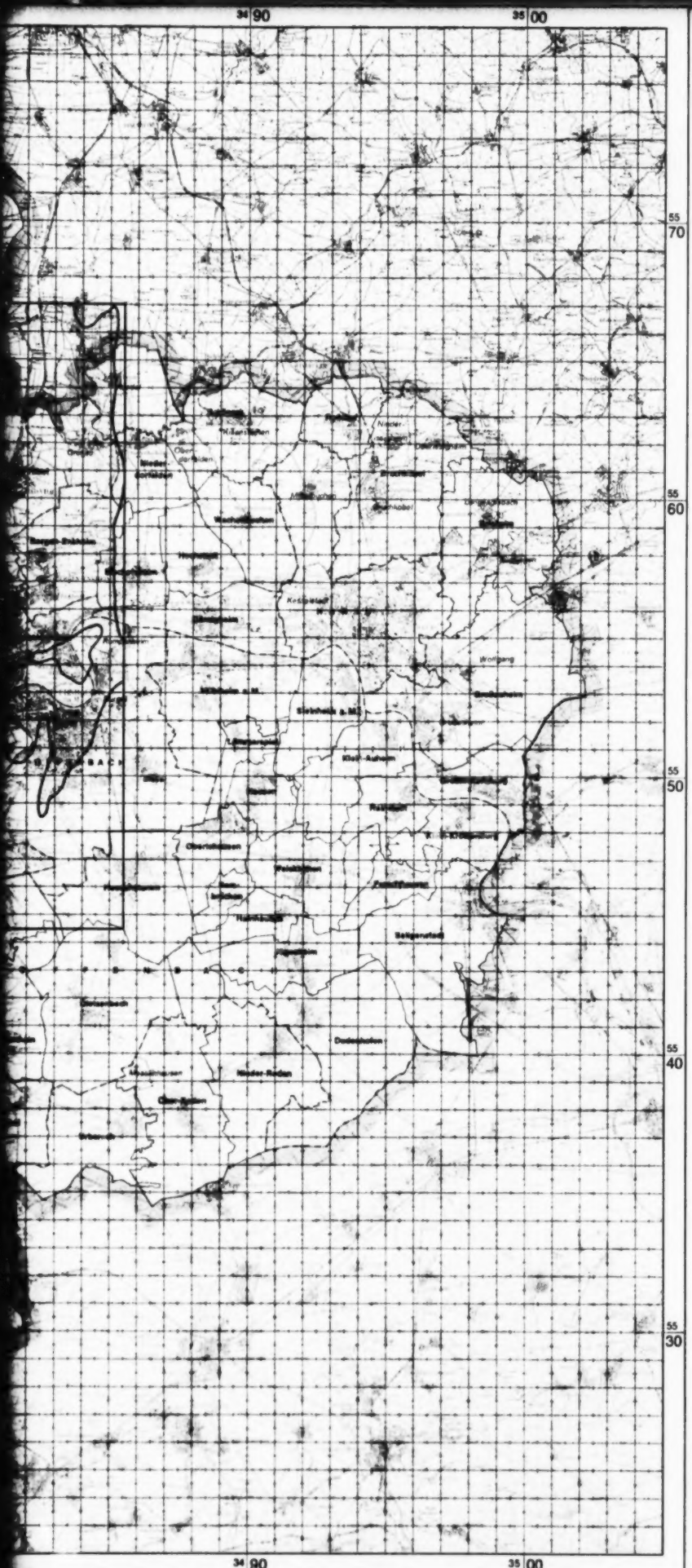
Maßstab, Scale 1 : 200 000

0 2 4 6 8 10 12 km

Preceding page blank


3450
3460
3470
3480
3490
Kalbach
Nieder-Eschbach
Seulberg
Bad Homburg v.d. Höhe
Dornholzhausen
Ober-Eschbach
Kirdorf
Sandberg
Köppern
Obernhain
Nieder-Erlenbach
Kalbach
Harheim
Nieder-Erlenbach
Kirdorf
Ober-Erlenbach
Ober-Eschbach
Seulberg
Dornholzhausen
Bad Homburg v.d. Höhe

Jahresmittelwert der SO_2-Konzentrationen für die heizfreie Periode 1970–1971 (meteorologische Daten 1967–70)
Annual mean of SO_2-concentrations for the unheated period 1970–1971 (meteorological data 1967–70)



SO_2 µg/m³

- 0–10
- 10–20
- 20–30
- 30–40
- über 40

Grenze des Untersuchungsgebietes
Border of the investigation area

Landesgrenze
State border

Kreisgrenze
District border

Gemeindegrenze
Community border

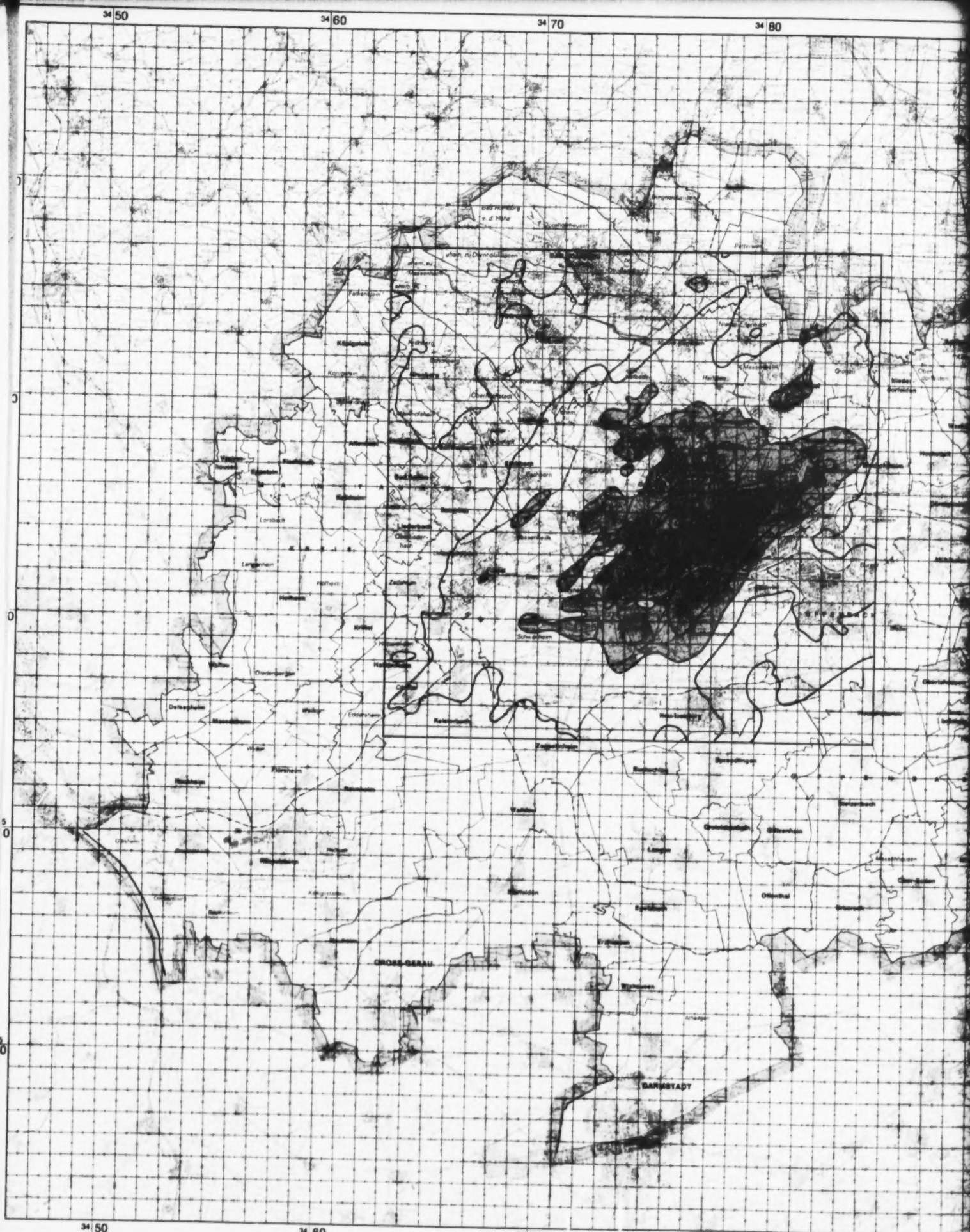
Ortsteilgrenze
Quarter border

4 km² / 1

Maßstab, Scale 1 : 200 000

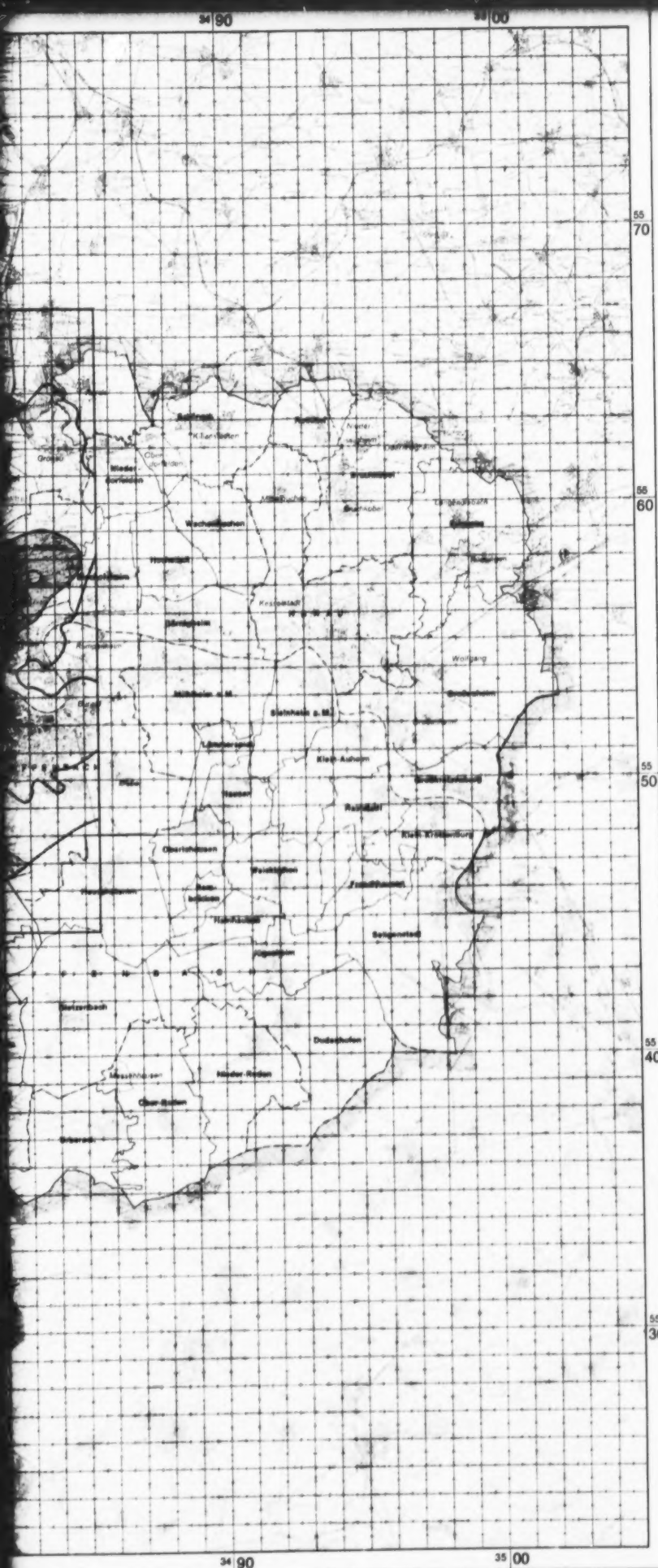
0 2 4 6 8 10 12 km

Preceding page blank



Bearbeitet von der Regionalen Planungsgemeinschaft Untermain

Jährliche I_2-Werte der SO_2-Konzentrationen für den Zeitraum 1970—1971 nach Stratmann (meteorologische Daten 1967—70)
Annual I_2-values of SO_2-concentrations for the period 1970—1971 by Stratmann (meteorological data 1967—70)



SO_2 µg/m³

- 0—200
- 200—400
- 400—600
- über 600

Grenze des Untersuchungsgebietes
Border of the investigation area

Landesgrenze
State border

Kreisgrenze
District border

Gemeindegrenze
Community border

Ortsteilgrenze
Quarter border

4 km²
1

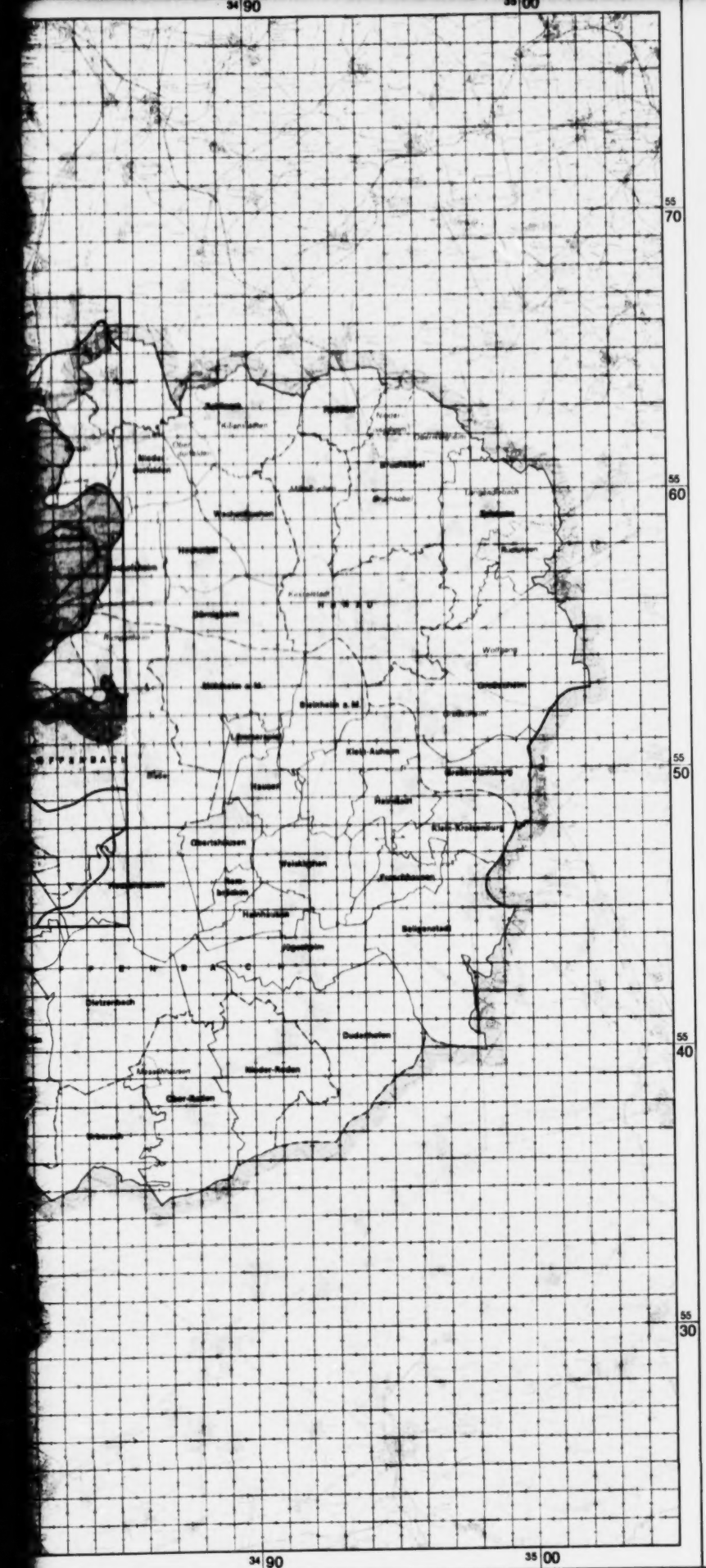
Maßstab, Scale 1 : 200 000

0 2 4 6 8 10 12 km

Preceding page blank

34 50
34 60
34 70
34 80
34 90
OFFENBACH
GROSS-GERAU
DARMSTADT

I_2-Werte der SO_2-Konzentrationen für die Heizperiode 1970–1971 nach Stratmann (meteorologische Daten 1967–70)
I_2-values of SO_2-concentrations for the heating period 1970–1971 by Stratmann (meteorological data 1967–70)



SO_2 µg/m³

- 0–200
- 200–400
- 400–600
- 600–800
- über 800

Grenze des Untersuchungsgebietes
Border of the investigation area

Landesgrenze
State border

Kreisgrenze
District border

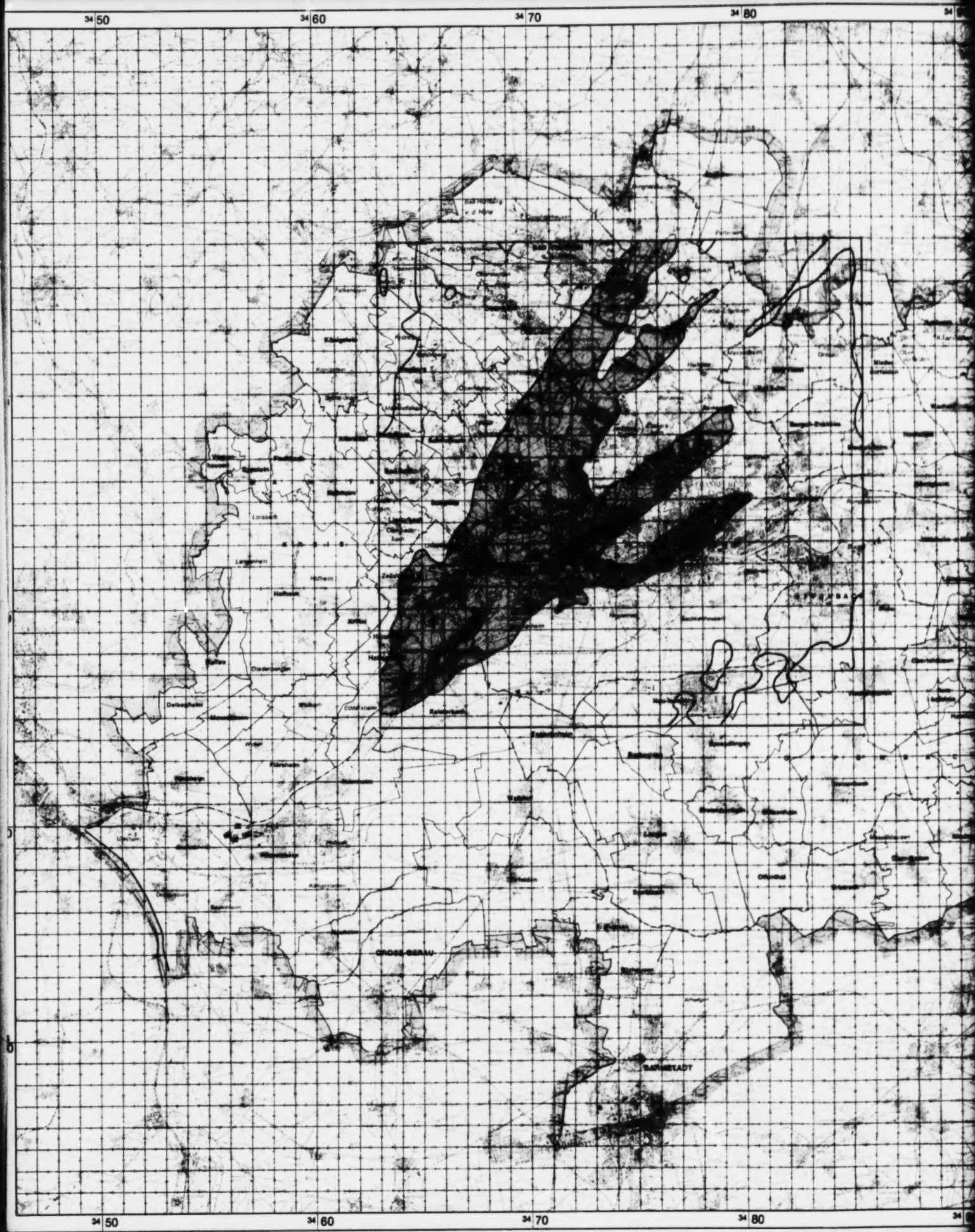
Gemeindegrenze
Community border

Ortsteilgrenze
Quarter border

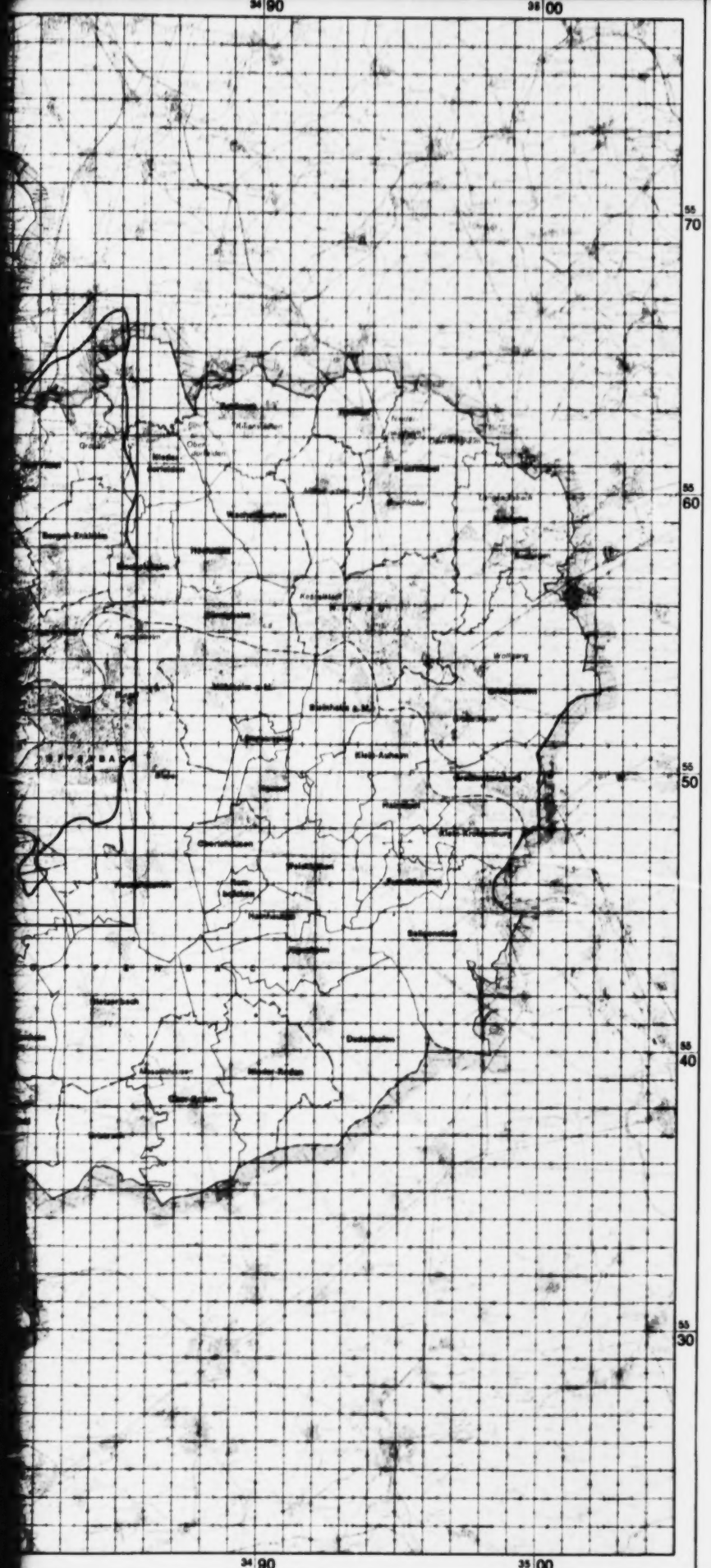
4 km²
1

Maßstab, Scale 1 : 200 000

0 2 4 6 8 10 12 km


34 50
34 60
34 70
34 80
GROSS-GERAU
DARMSTADT

I_2-Werte der SO_2-Konzentrationen für die heizfreie Periode 1970–1971 nach Stratmann (meteorologische Daten 1967–70)
I_2-values of SO_2-concentrations for the unheated period 1970–1971 by Stratmann (meteorological data 1967–70)



SO_2 µg/m³

- 0–100
- 100–200
- 200–300
- über 300

Grenze des Untersuchungsgebietes
Border of the investigation area

Landesgrenze
State border

Kreisgrenze
District border

Gemeindegrenze
Community border

Ortsteilgrenze
Quarter border

4 km²
1

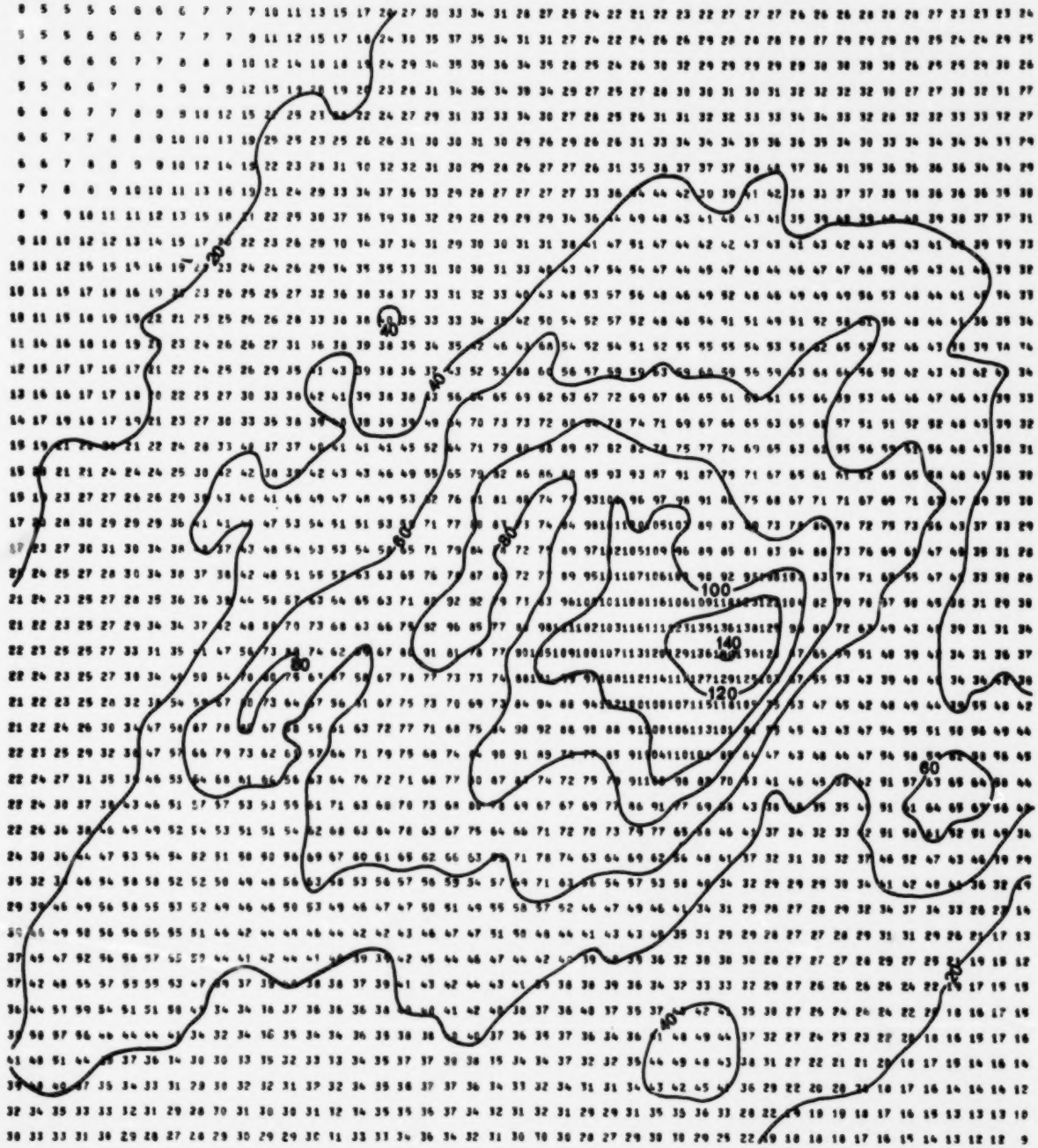
Maßstab, Scale 1 : 200 000

0 2 4 6 8 10 12 km

Preceding page blank

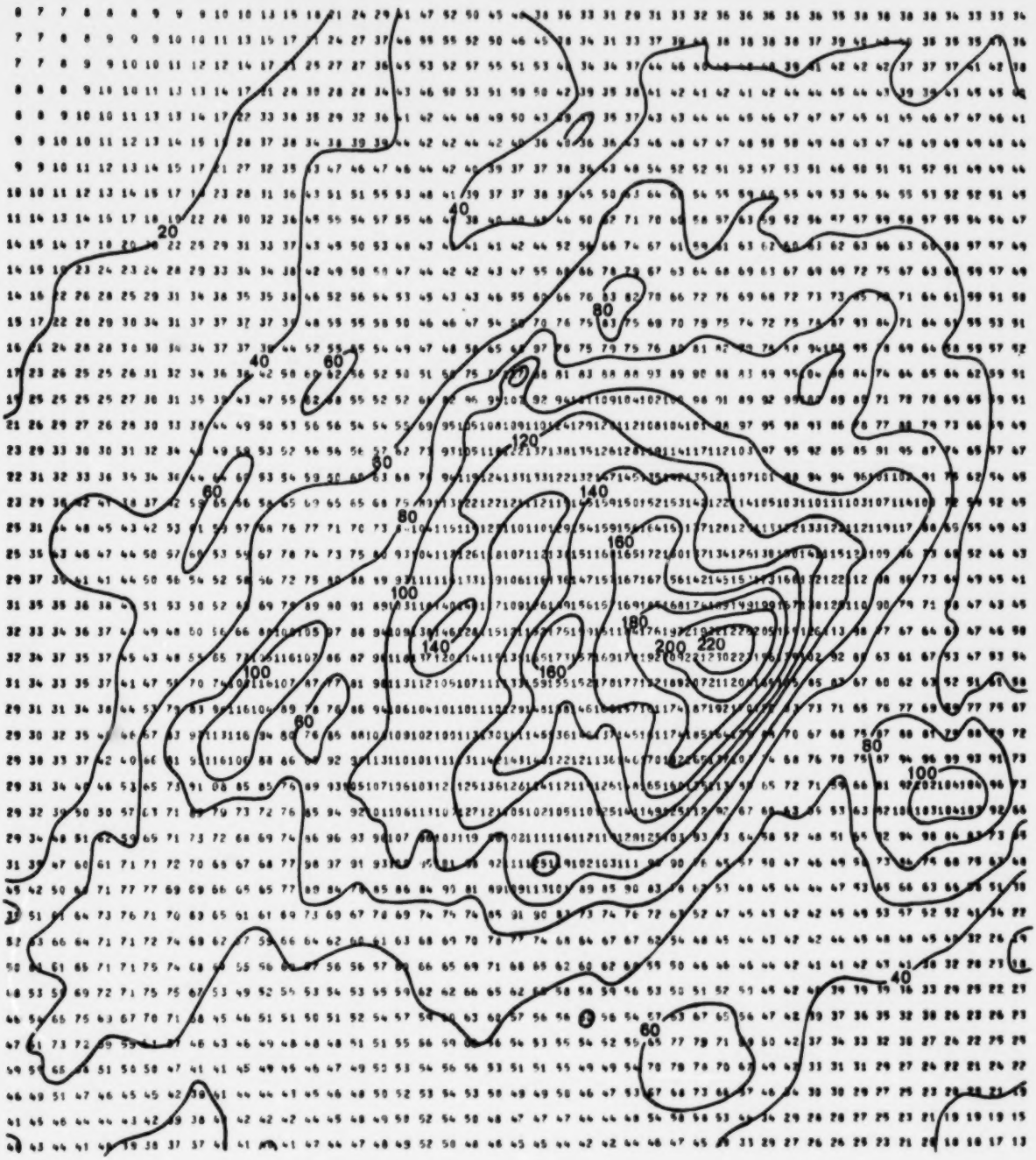
Jahresmittelwert der SO_2-Konzentration für den Zeitraum 1970–1971
Annual mean of SO_2 concentration for the period 1970–1971
($\mu g/m^3$)

Abb. 65
Fig. 65



Preceding page blank

Abb. 68 **Jahresmittelwert der SO_2-Konzentration für den Zeitraum 1970 – 1971 für die Heizperiode**
Fig. 68 **Annual mean of SO_2 concentrations for the period 1970 – 1971 for the heating period**
($\mu g/m^3$)



Jahresmittelwert der SO_2-Konzentration für den Zeitraum 1970 – 1971 für die heizfreie Periode **Abb. 67**
Annual mean of SO_2 concentrations for the period 1970 – 1971 for the unheated period **Fig. 67**
($\mu g/m^3$)

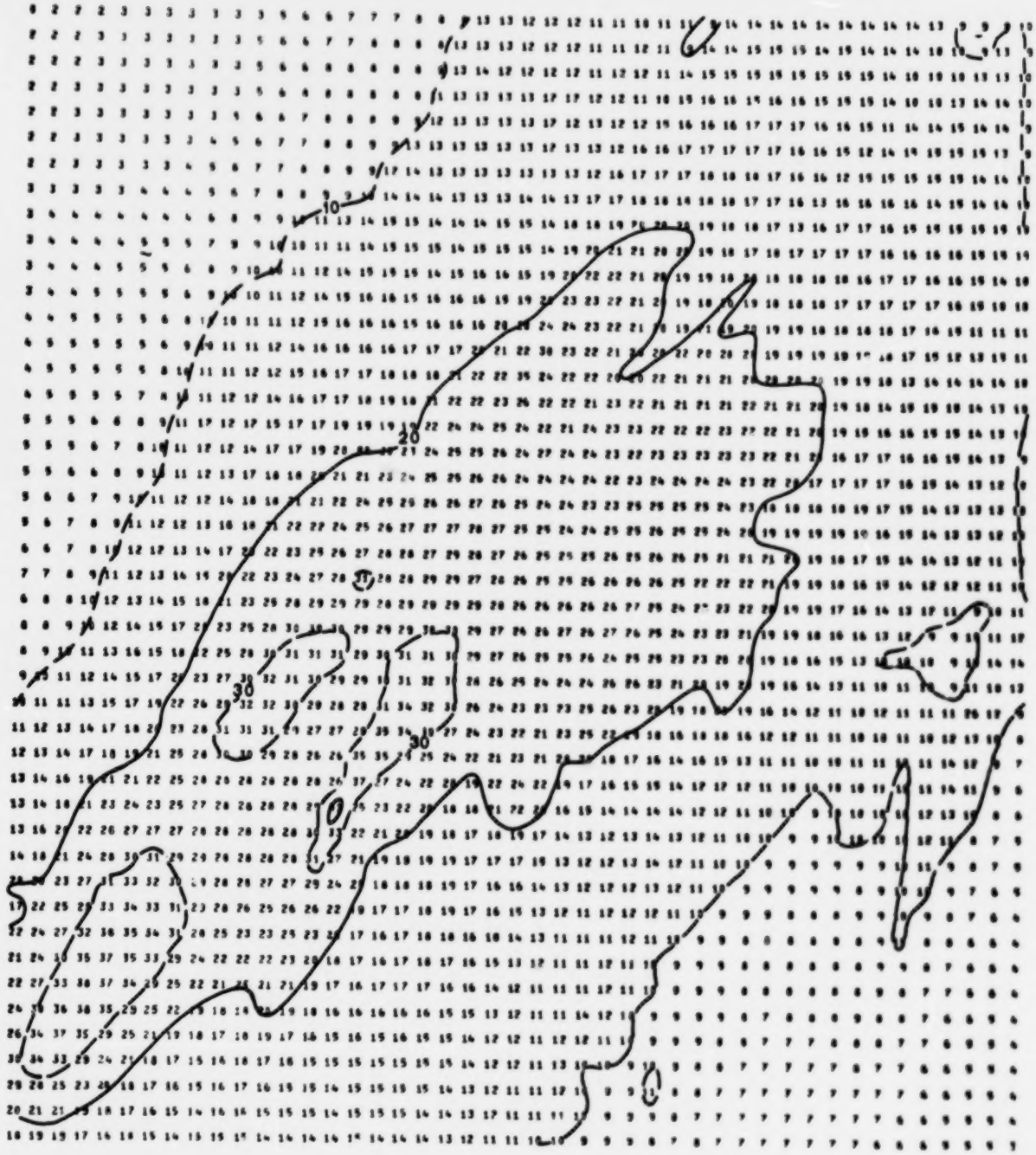
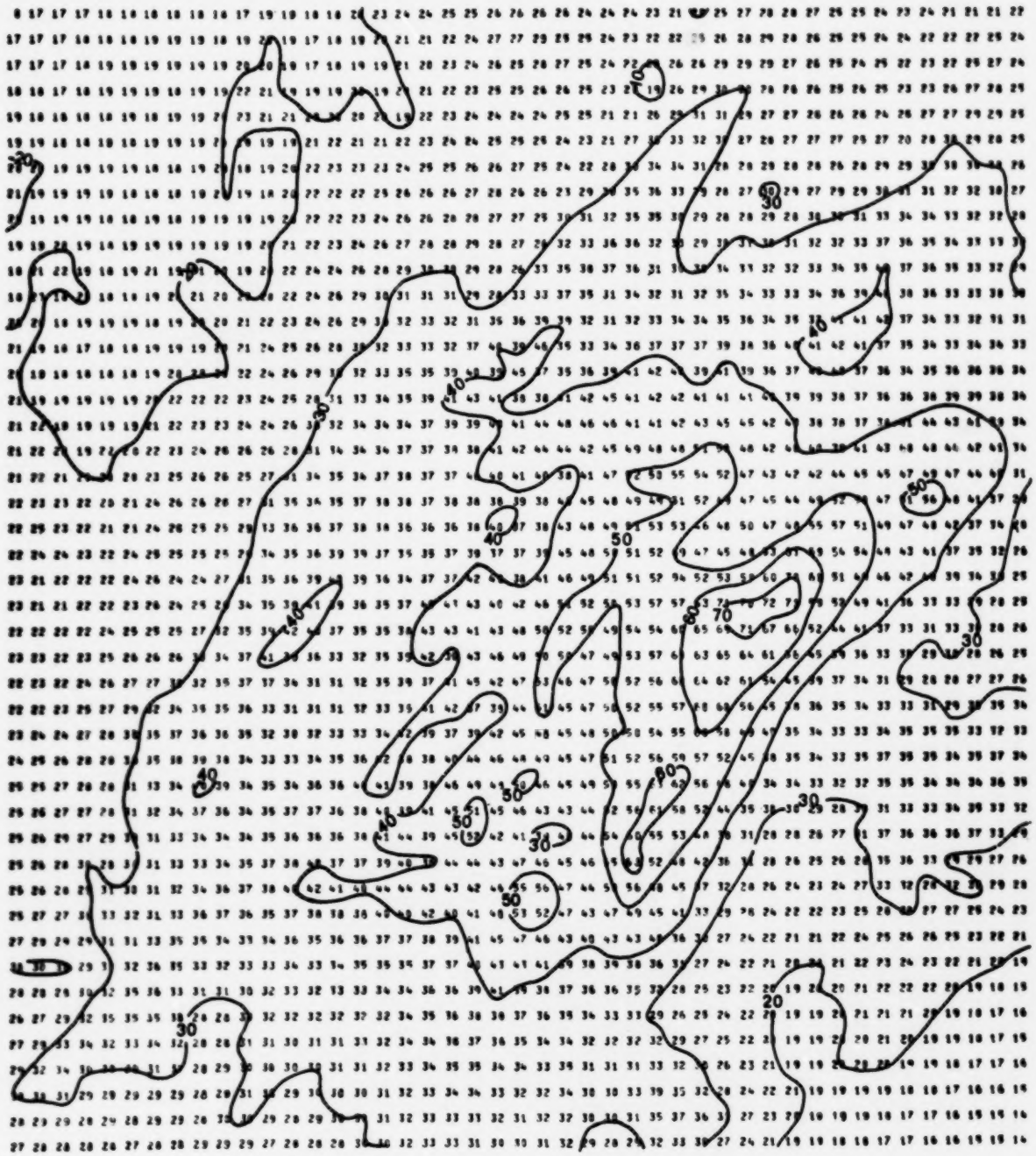


Abb. 68
Fig. 68

Nach Stratmann berechneter I_2-Wert der SO_2-Konzentration (1970—1971)
Calculated I_2-value of SO_2 concentration by Stratmann (1970—1971)
($\mu g \cdot 10^1/m^3$)



Nach Stratmann berechneter I_2-Wert der SO_2-Konzentration (1970–1971) im Winter **Abb. 69**
Calculated I_2-value of SO_2 concentration (1970–1971) during winter by Stratmann **Fig. 69**

($\mu g \cdot 10^1/m^3$)

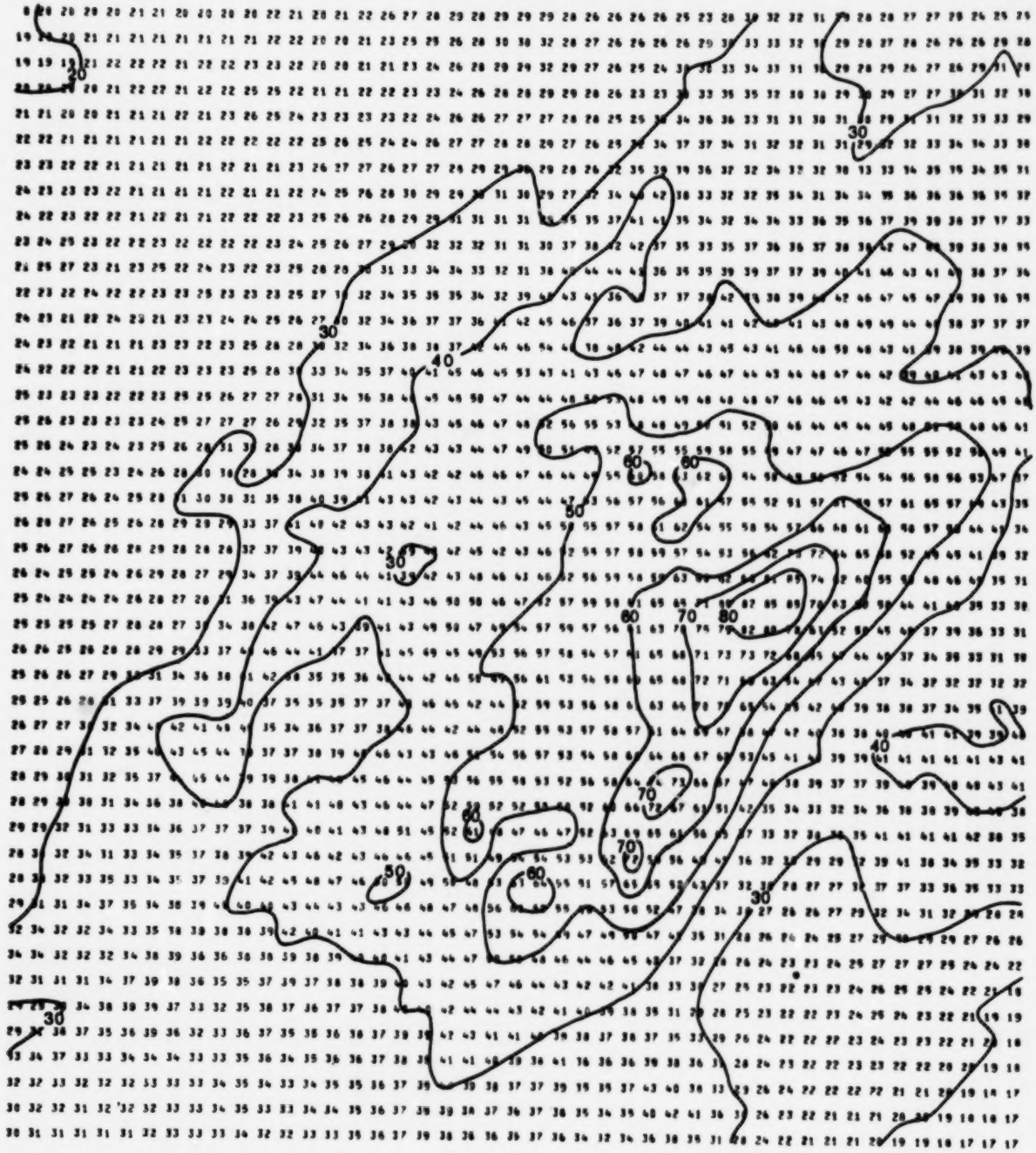
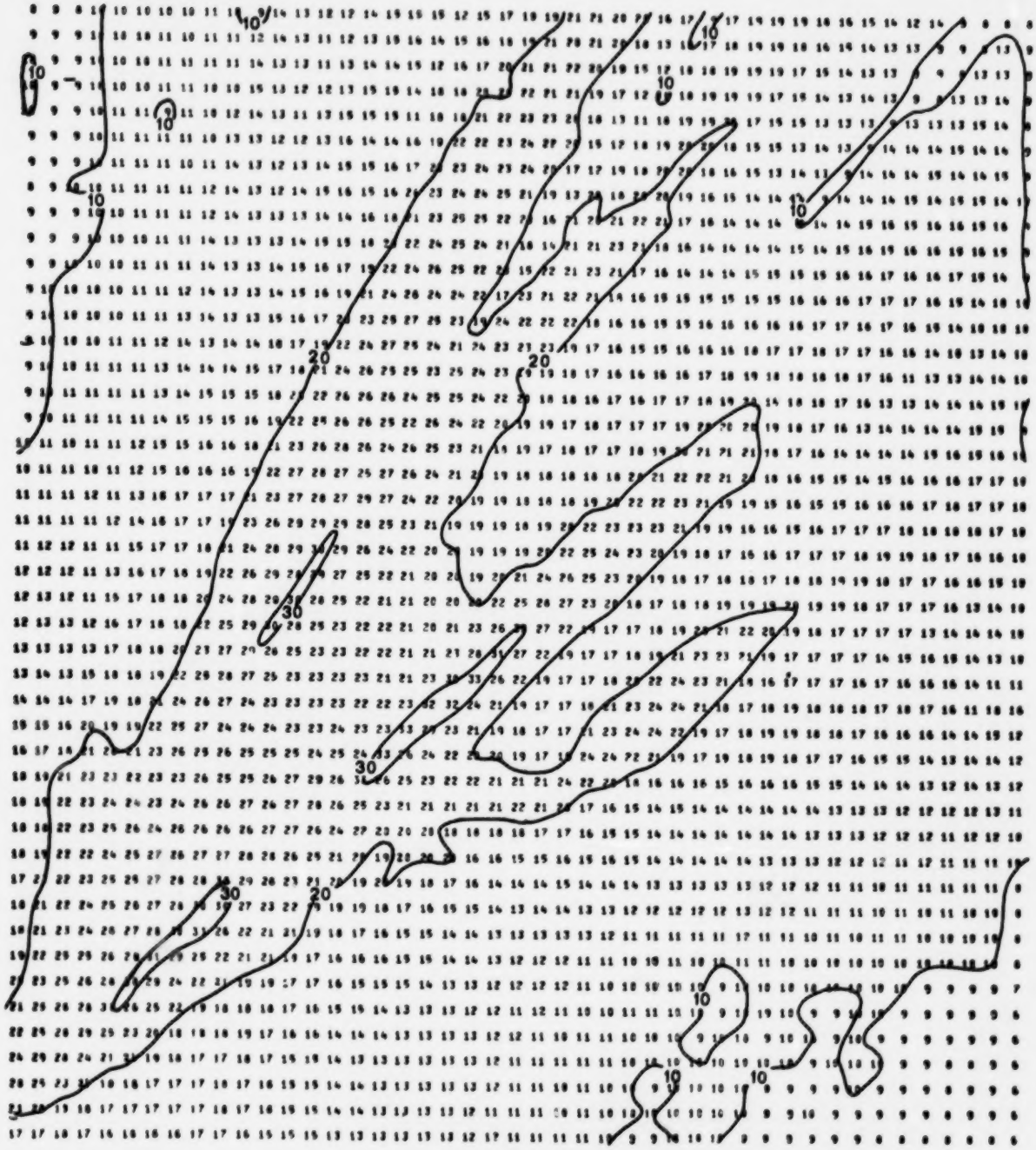


Abb. 70
Fig. 70

Nach Stratmann berechneter I_2-Wert der SO_2-Konzentration (1970–1971) im Sommer
Calculated I_2-value of SO_2 concentration (1970–1971) during summer by Stratmann
($\mu g \cdot 10^1/m^3$)



Die Immissionsklimatologien ausgewählter Stationen, dargestellt in Form von Summenhäufigkeitsverteilungen, finden sich in den folgenden Abbildungen 71 bis 73, diese stellen gemessene Summenhäufigkeiten den berechneten für drei Stationen gegenüber. Dabei ergibt sich für die Stationen „Zentralstation" und „Posthochhaus" das Ergebnis, daß der Anteil der hohen Konzentration überschätzt wird. Wesentlich besser ist die Übereinstimmung an der Station „Ackermann-Schule". Nur an diesen drei Stationen wurde in dem Zeitraum, in dem die meteorologischen Beobachtungen zur Verfügung waren, gemessen. Der Grund für die Überschätzung des Anteils der hohen Konzentrationen konnte noch nicht voll erkannt werden. Inwieweit und in welchem Sinne die 29 % windschwachen Wetterlagen, bzw. topographische Effekte oder „heat island" - Effekte an diesem Ergebnis beteiligt sind, läßt sich nicht abschätzen. Sicher läßt sich jedoch durch die bisher nicht durchgeführte Modell-Kalibrierung eine wesentliche Verbesserung der Ergebnisse an allen Stationen herbeiführen. Das wird möglich sein, wenn für die restlichen Stationen, für die in den Abbildungen 74 bis 78 nur die berechneten Summenhäufigkeiten wiedergegeben sind, ebenfalls gemessene Summenhäufigkeiten vorliegen.

The immission climatologies of selected stations, shown in the form of total frequency distributions, can be derived from fig. 71 to 73 which compare the actually measured total frequencies with those calculated for three stations. The result for the stations "central station" and "PTT building" proves that the share of high concentrations has been over-estimated. Much greater is the conformity at the "Ackermann school" station. Measurements were carried out only at these three stations during the period when the meteorological observations were available. It has not yet been possible fully to determine the reason for the overestimation of the share of high concentrations. No estimate can be given to what extent and in what sense the 29 % of calm weather conditions or topographic effects or "heat island" effects have influenced this result, however, a substantial improvement of the results at all stations could be obtained by a model calibration which has not been implemented so far. This will be possible when the total frequencies have been measured also at the remaining stations for which fig. 74 to 78 show only the calculated total frequencies.

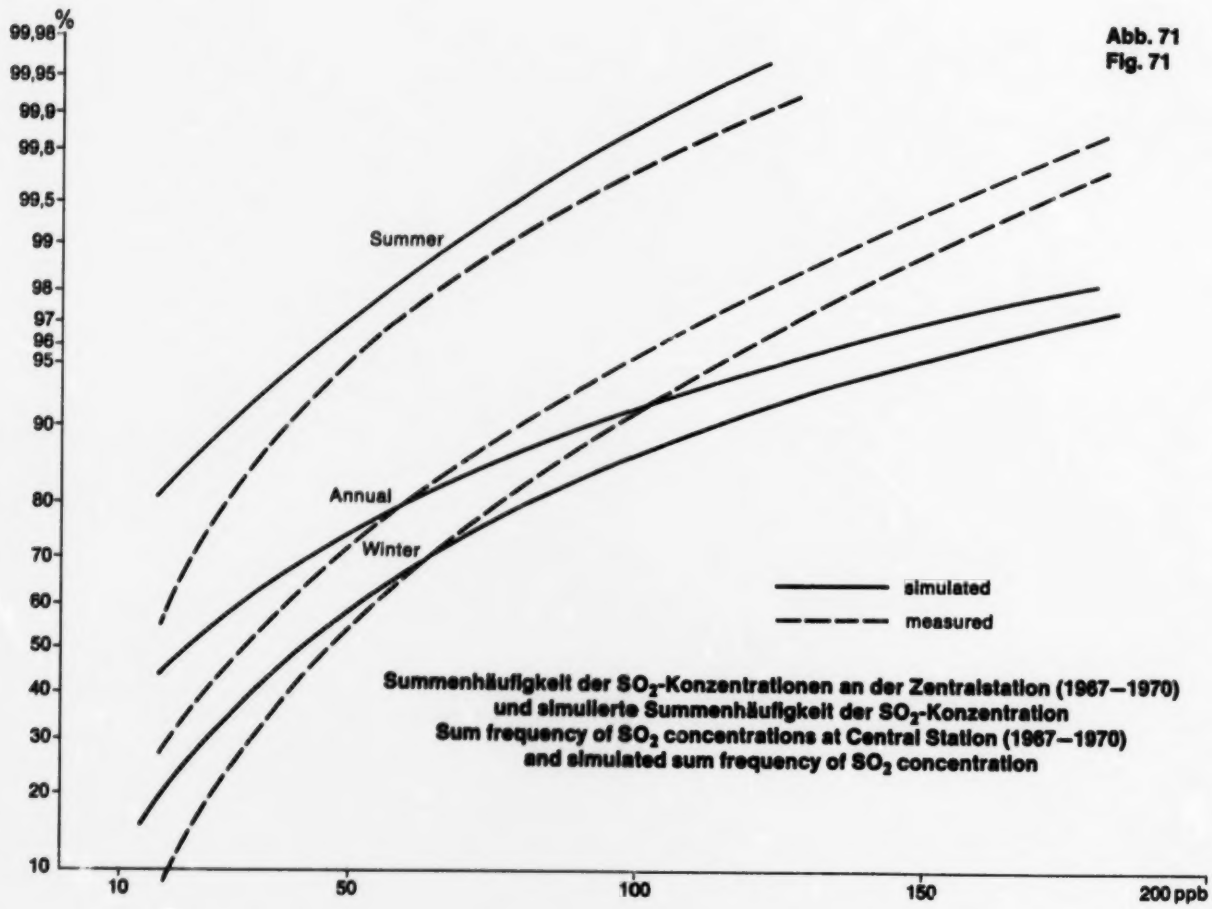


Abb. 71
Fig. 71

Summenhäufigkeit der SO_2-Konzentrationen an der Zentralstation (1967–1970) und simulierte Summenhäufigkeit der SO_2-Konzentration
Sum frequency of SO_2 concentrations at Central Station (1967–1970) and simulated sum frequency of SO_2 concentration

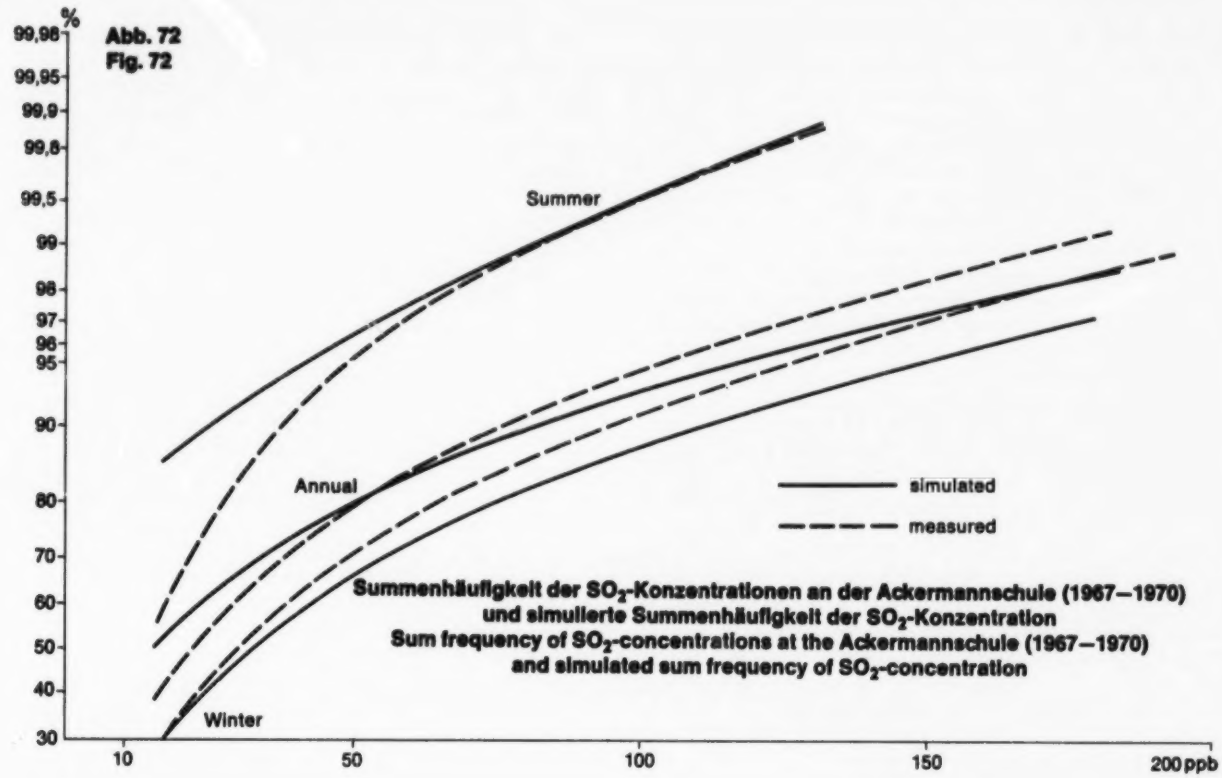


Abb. 72
Fig. 72

Summenhäufigkeit der SO_2-Konzentrationen an der Ackermannschule (1967–1970) und simulierte Summenhäufigkeit der SO_2-Konzentration
Sum frequency of SO_2-concentrations at the Ackermannschule (1967–1970) and simulated sum frequency of SO_2-concentration

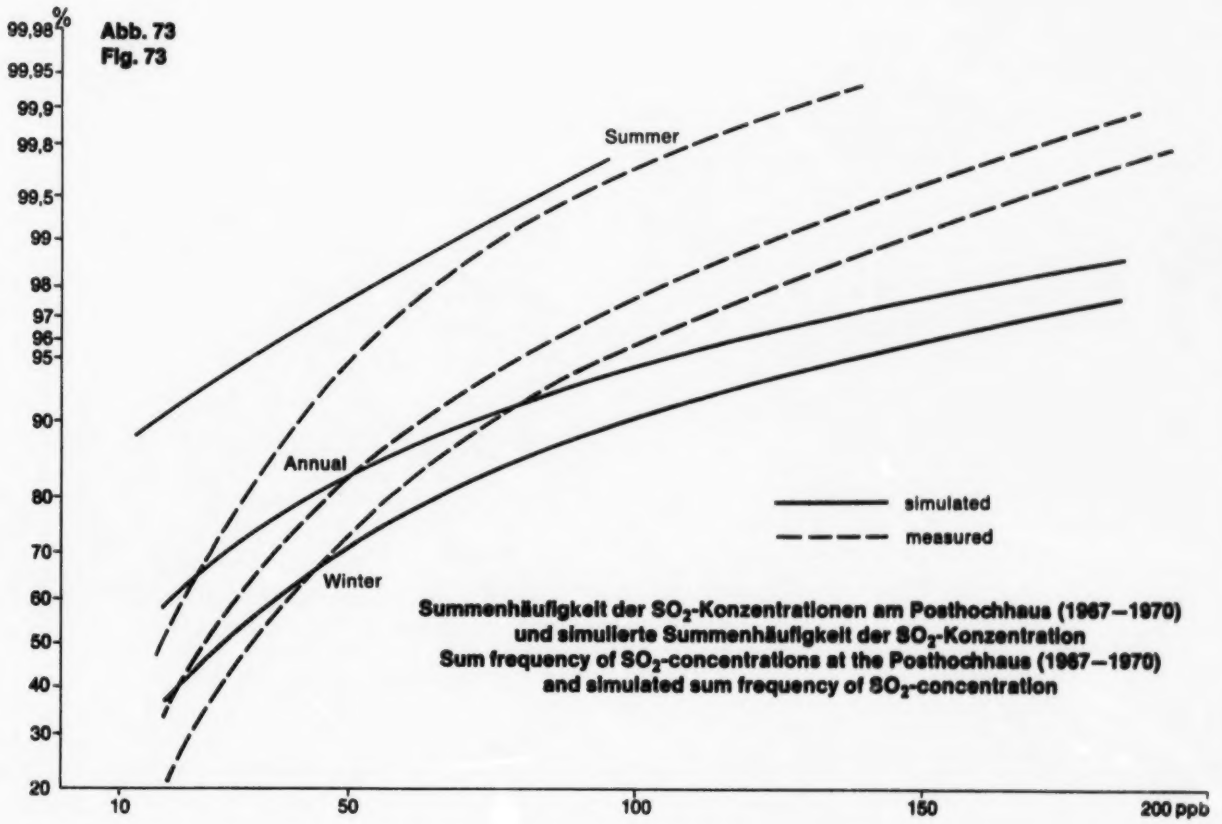
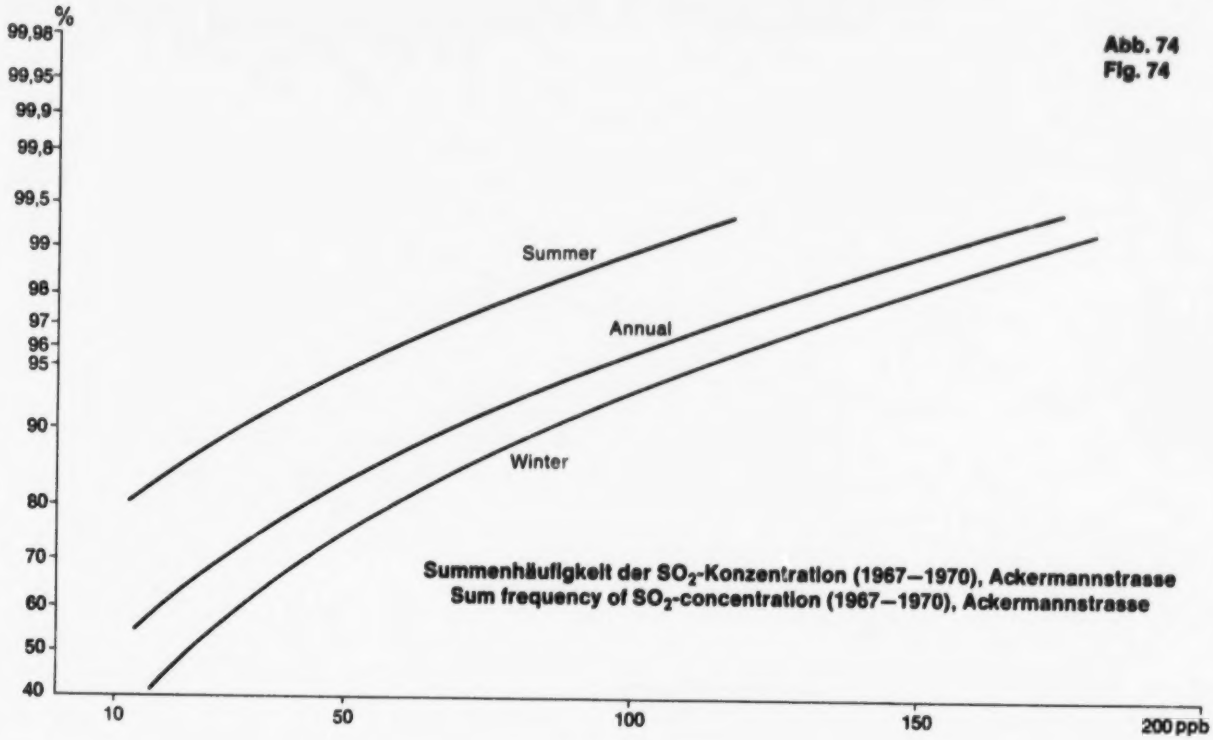


Abb. 73
Fig. 73

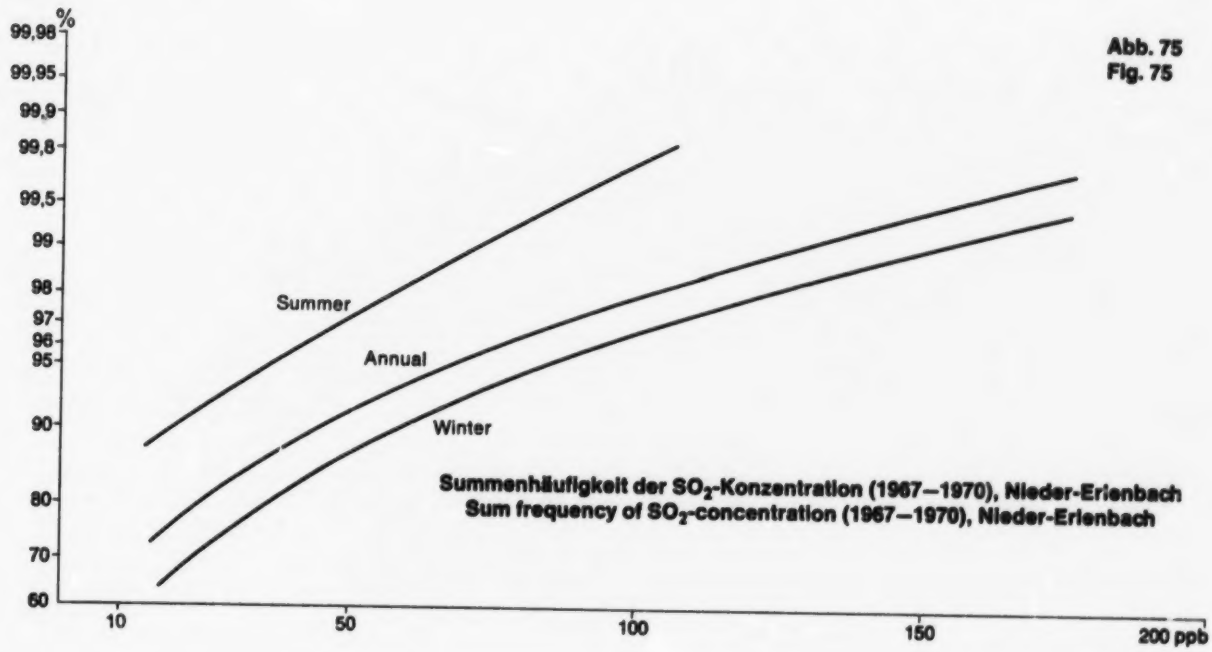
Summenhäufigkeit der SO_2-Konzentrationen am Posthochhaus (1967–1970) und simulierte Summenhäufigkeit der SO_2-Konzentration
Sum frequency of SO_2-concentrations at the Posthochhaus (1967–1970) and simulated sum frequency of SO_2-concentration

Abb. 74
Fig. 74



Summenhäufigkeit der SO_2-Konzentration (1967–1970), Ackermannstrasse
Sum frequency of SO_2-concentration (1967–1970), Ackermannstrasse

Abb. 75
Fig. 75



Summenhäufigkeit der SO_2-Konzentration (1967–1970), Nieder-Erlenbach
Sum frequency of SO_2-concentration (1967–1970), Nieder-Erlenbach

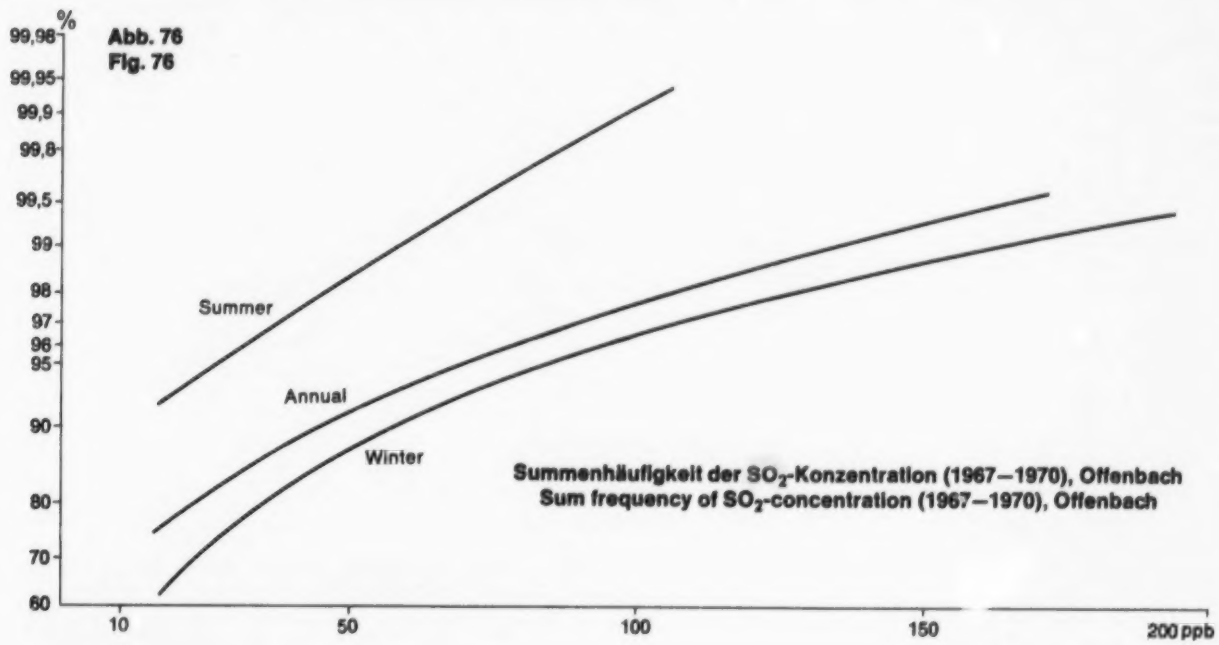


Abb. 76
Fig. 76

Summenhäufigkeit der SO_2-Konzentration (1967–1970), Offenbach
Sum frequency of SO_2-concentration (1967–1970), Offenbach

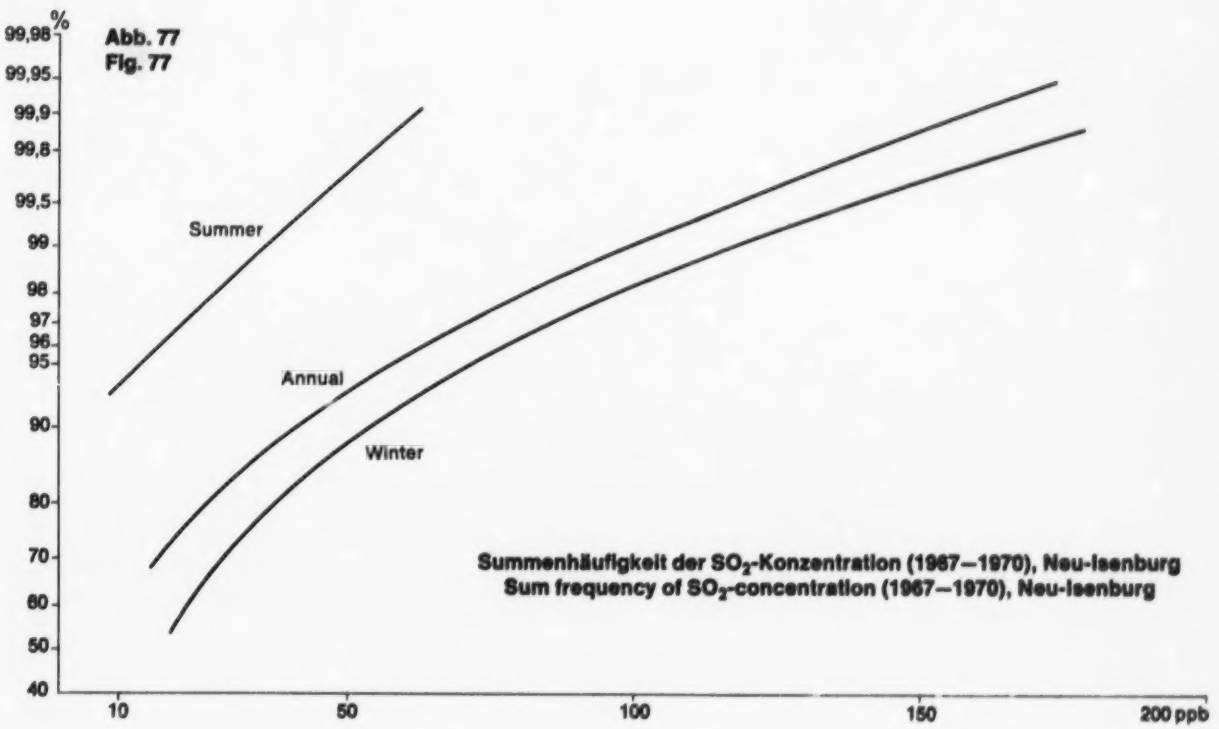


Abb. 77
Fig. 77

Summenhäufigkeit der SO_2-Konzentration (1967–1970), Neu-Isenburg
Sum frequency of SO_2-concentration (1967–1970), Neu-Isenburg

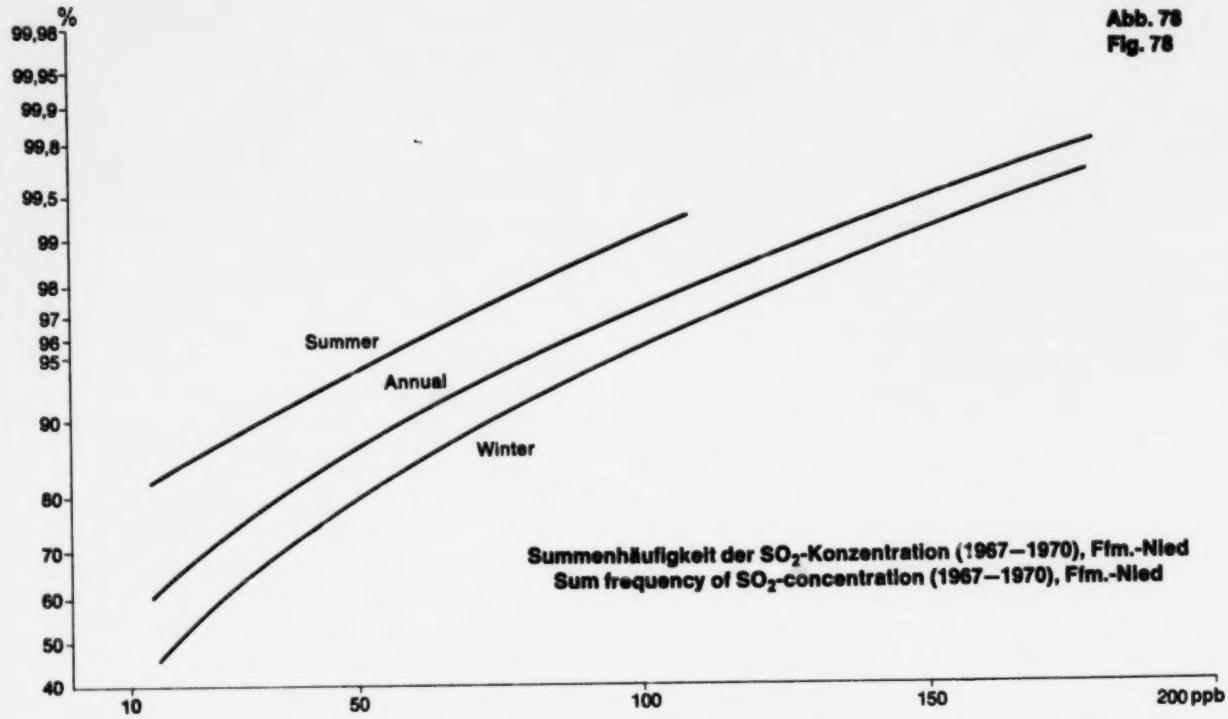


Abb. 78
Fig. 78

Summenhäufigkeit der SO_2-Konzentration (1967–1970), Ffm.-Nied
Sum frequency of SO_2-concentration (1967–1970), Ffm.-Nied

6.4. Literatur/Literature:

(1) FORTAK, H.: Anwendungsmöglichkeiten von mathematisch-meteorologischen Diffusionsmodellen zur Lösung von Fragen der Luftreinhaltung. Herausgegeben vom Minister für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf 1972.

(2) WACHTER, H. und SCHARRER, H.: Die Regionalwindverteilung im Gebiet der Stadt Frankfurt am Main. Berichte des Instituts für Meteorologie und Geophysik der Universität Frankfurt/Main, Nr. 22, Oktober 1970.

(3) TURNER, D. B.: A diffusion model for an urban area. J. Appl. Meteorol. 3, 1964.

(4) Lufthygienisch - meteorologische Modelluntersuchung in der Region Untermain, RPU, 1. Arbeitsbericht 1970.

(5) Emissionskataster Köln, Minister für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen, 1972.

7. Prognose der Luftqualität

7.1. Einführung

Die zukünftige Belastung der Luft durch Verbrennungsanlagen hängt vorrangig von der absoluten und anteilmäßigen Entwicklung des Primärenergieverbrauchs in Zusammenhang mit den möglichen technischen Verbesserungen ab, die bei dem Verbrennungsvorgang eingeführt werden können.

Die Formulierung einer solchen Entwicklungsprognose setzt die Festlegung zahlreicher Variablen voraus. Da aber diese Variablen in direktem Zusammenhang mit nicht determinierbaren Komponenten soziologischer und technologischer Natur stehen, muß diese Prognose mit der notwendigen Vorsicht betrachtet werden.

7.2. Prognose der Bevölkerungs- und Beschäftigtenentwicklung bis 1985

7.2.1. Bevölkerungsentwicklung (9)

Das Untersuchungsgebiet mit einer Gesamtbevölkerung von 1 856 000 im Jahre 1970 wird nach der letzten Prognose bis 1985 um ca. 85 000 auf 1 941 000 Einwohner anwachsen. Der im Zeitraum von 1960 bis 1970 in der Bundesrepublik an der Spitze stehende Zuwachs der Bevölkerung im Untersuchungsgebiet von jährlich ca. 20 000 Einwohner wird sich bis zum Jahre 1985 damit auf einen jährlichen Zuwachs von ca. 6000 Einwohner reduzieren. Als Ursache für diesen verminderten Zuwachs können mehrere Faktoren angesehen werden. Der Verlauf der Geburtenziffern seit 1970 liegt unerwartet niedrig. Im Zusammenhang mit der wirtschaftlichen Entwicklung und dem daraus resultierenden Wohlstand macht sich die Familienplanung bzw. die zunehmende Berufstätigkeit der Frau bemerkbar. Die Einbrüche bei den heutigen Geburtenziffern sind so groß, daß die Bevölkerungsentwicklung ohne einen Wanderungsgewinn im Untersuchungsgebiet bis 1985 um ca. 20 000 Einwohner rückläufig wäre. Dies wird jedoch durch eine relativ hohe Zuwanderung von außerhalb überlagert.

Der Wanderungsgewinn, der zu ca. 80 % aus ausländischen Arbeitnehmern besteht, wirft jedoch im Zusammenhang mit der künftigen wirtschaftlichen Entwicklung gesonderte Probleme auf. Einerseits befürwortet die politische Willensbildung der Bundesrepublik mehr und mehr Zuwanderungsbeschränkungen von Ausländern, andererseits sind die künftigen Erwartungen der Wirtschaft im Rahmen des Arbeitskräftebedarfs zu berücksichtigen. Beide Ansätze fanden in die Hypothesen zum Prognosemodell Eingang und lassen nur noch reduzierte Annahmen über künftige Zuwanderungsgewinne als realistisch erscheinen. Die Verteilung des zu erwartenden Bevölkerungszuwachses auf die Teilgebiete zeigt, wie in allen verdichteten Zonen der Industrieländer, in den Kernstädten (Teilgebiet I) absolute Abnahme bzw. Stagnation der Bevölkerung, während im Umland auch weiterhin ein

7. Prognosis of air quality

7.1. Introduction

The future load of air by combustion engines depends primarily on the absolute and proportional development of the primary use of energy in connection with the possible technical improvements which could be initiated during the process of combustion.

The statement of such a prognosis of development assumes the adjustment of numereous variables. As these variables are connected directly with non-determinative components of sociological and technological nature this prognosis has to be looked at with the necessary precaution.

7.2. Prognosis of the development of population and employees until 1985

7.2.1. Development of population (9)

The investigation area with a total population of 1 856 000 in the year 1970 will increase until 1985 by about 85 000 to 1 941 000 inhabitants according to the latest prognosis. The increase of population in the investigation area of annually about 20 000 inhabitants in the period from 1960 to 1970, which represents the largest rate of increase in the Federal Republic, will diminish therewith to an annual expansion of approximately 6000 inhabitants until the year 1985. Several factors can be looked at as the reason for this reduced increase. The course of birthrates is unexpectedly low since 1970. In connection with the economic development and the standard of living resulting in this the family planning respectively the increasing tendency of women to go to work is observable. The break-down of today's birth-rates is so large that the development of population would be retrograde in the investigation area until 1985 for about 20 000 inhabitants without the gain of migrations. This however is superimposed by a relatively high migration from outside.

The gain of migration which consists of about 80 % of foreign employees raises separate problems in connection with the future economic development. On one hand the political will-power in the Federal Republic leads more and more to migration limitations of foreigners on the other hand the future expectations of economy have to be considered in the framework of the need of working-power. Both these points found entry into the hypothesis of the prognosis model so that only assumptions of future reduced gains of migration appear realistic. The distribution of the expected increase of population in the sub-areas shows how in all zones of industrialized countries with high density an absolute decrease respectively stagnation of the population is to be found in the city areas (subarea I) while in the more outside located metropolitan area further increases are to be expected. Especially

Zuwachs erfolgen wird. Besonders begünstigt durch seine guten Wohnstandortqualitäten ist dabei das Teilgebiet II, das mit 28 % die höchste Zuwachsrate unter den Teilgebieten erhält (vgl. Karte 32).

7.2.2. Beschäftigtenentwicklung

7.2.2.1. Primärer Sektor

Die fortschreitende Rationalisierung, Mechanisierung und strukturelle Verbesserung lassen im Bereich Land- und Forstwirtschaft weitere Beschäftigtenrückgänge erwarten. Von den bis 1985 noch verbleibenden Arbeitskräften in der Landwirtschaft werden ca. 3000 im Teilgebiet III und ca. 1000 im Teilgebiet IV beschäftigt sein. Voraussetzung hierfür ist die weitere Schrumpfung der Betriebe unter 20 ha landwirtschaftlicher Nutzfläche zugunsten der beim heutigen Stand der Technik betriebsgünstigen 40-ha-Familienbetriebe. Ziel dieser Entwicklung ist die Einkommensparität mit dem sekundären Sektor.

7.2.2.2. Sekundärer Sektor

Gemessen an der für 1985 prognostizierten Zahl von 506 400 Beschäftigten ist für den sekundären Sektor eine relative Stagnation zu erwarten. Hinter dieser Gesamtentwicklung stehen jedoch unterschiedliche strukturelle Probleme in den Teilgebieten (vgl. Tab. 1).

In der historischen Kernzone der industriellen Entwicklung (Teilgebiet I) setzt sich im Prognosezeitraum 1970–85 eine stark rückläufige Tendenz der Beschäftigten durch. Gründe hierfür sind vor allem mangelnde Expansionsmöglichkeiten der Industrie in den Städten sowie fehlende Standorte der Grundstoffindustrie am Main. Hinzu tritt eine erhöhte Kostenbelastung der traditionellen Standorte im Verdichtungskern (Steuern, Grundstückspreise, Verkehr), welche den Zuwachs in das direkte Umland der Städte lenkt. In struktureller Hinsicht wird sich langfristig die Chemie vor der Elektrotechnik und der Maschinenbau vor dem Fahrzeugbau etablieren. Besonders die Elektrotechnik ist durch ihre relative Standortunabhängigkeit von dieser Entwicklung betroffen und gewinnt im Teilgebiet II an Bedeutung vor dem Maschinenbau. Im Teilgebiet III zeigt sich im Prognosezeitraum die Strukturkrise im Bereich der Lederindustrie, während die Eisen-, Blech- und Metallwaren- und die elektronische Industrie an Bedeutung gewinnen. Der Teilbereich IV ist auch für künftige industrielle Entwicklung von untergeordneter Bedeutung.

7.2.2.3. Tertiärer Sektor

Der Hauptteil der zu erwartenden Beschäftigtenentwicklung entfällt auf den tertiären Sektor, welcher um 121 000 auf 660 000 Beschäftigte im Untersuchungsgebiet wachsen wird. Von diesem Zuwachs entfallen allein 61 % auf das Teilgebiet I (vgl. Tab. 2). Auch in Zukunft wird die dem tertiären Sektor eigene Konzentrationstendenz in die historisch gewachsenen Schwerpunkte anhalten.

favoured by the high quality of residential locations is sub-area II which maintains the highest increase rate with 28 % among the remaining sub-areas (see map. 32).

7.2.2. Development of employees

7.2.2.1. Primary sector

The advancing rational development, mechanization, and structural improvement in the sector of agriculture and forestry seems to bring a further decrease of employees. Of the remaining employees in agriculture until 1985 about 3000 will be employed in sub-area III and about 1000 in sub-area IV. Assumption for this is the further waste of farms with less than 20 ha of useful agricultural area in favour of 40 ha farms that can be handled by one family at today's point of technique. Aim of this development is the equality of income with the secondary sector.

7.2.2.2. Secondary sector

Measured with the predicted number of 506 400 employees for 1985 a relative stagnation for the secondary sector is to be expected. Behind this total development however different structural problems are to be found in the sub-areas (see table 1).

In the historical nucleus of the industrial development (sub-area I) a strong retrograde tendency of employees penetrates during the prognosis period 1970 to 85. Reasons for this are especially the lack of expansion possibilities of industry in the cities as well as the lack of locations of the basic industry along the Main river. An increased load of costs of the traditional locations in the densely populated area (taxes, real estate prices, traffic) steps up which guides to increase into the surroundings of the cities. From a structural point of view the chemical industry will establish itself ahead of the electro-technical industry and the mechanical engineering will establish ahead of the vehicle engineering. Especially the electro-technical industry is affected by this development because of its relative independence of location and gathers monumentum in the sub-area II ahead of the vehicle engineering. In the sector leather industry in sub-area III the structure crisis is shown during the prognosis period while the iron-, thin-plate-, and hardware industry and the electro-technical industry will gain importance. Sub-area IV is of inferior importance also for the future industrial development.

7.2.2.3. Tertiary sector

The major part of the expected development of employees is in the tertiary sector which will increase about 121 000 to 660 000 employees in the investigation area. 61 % of this increase belong to sub-area I (see table 2). The future tendency of concentration of the tertiary sector into the historically grown concentration point will continue.

Tab. 1: Sekundärer Sektor – Prognose bis 1985

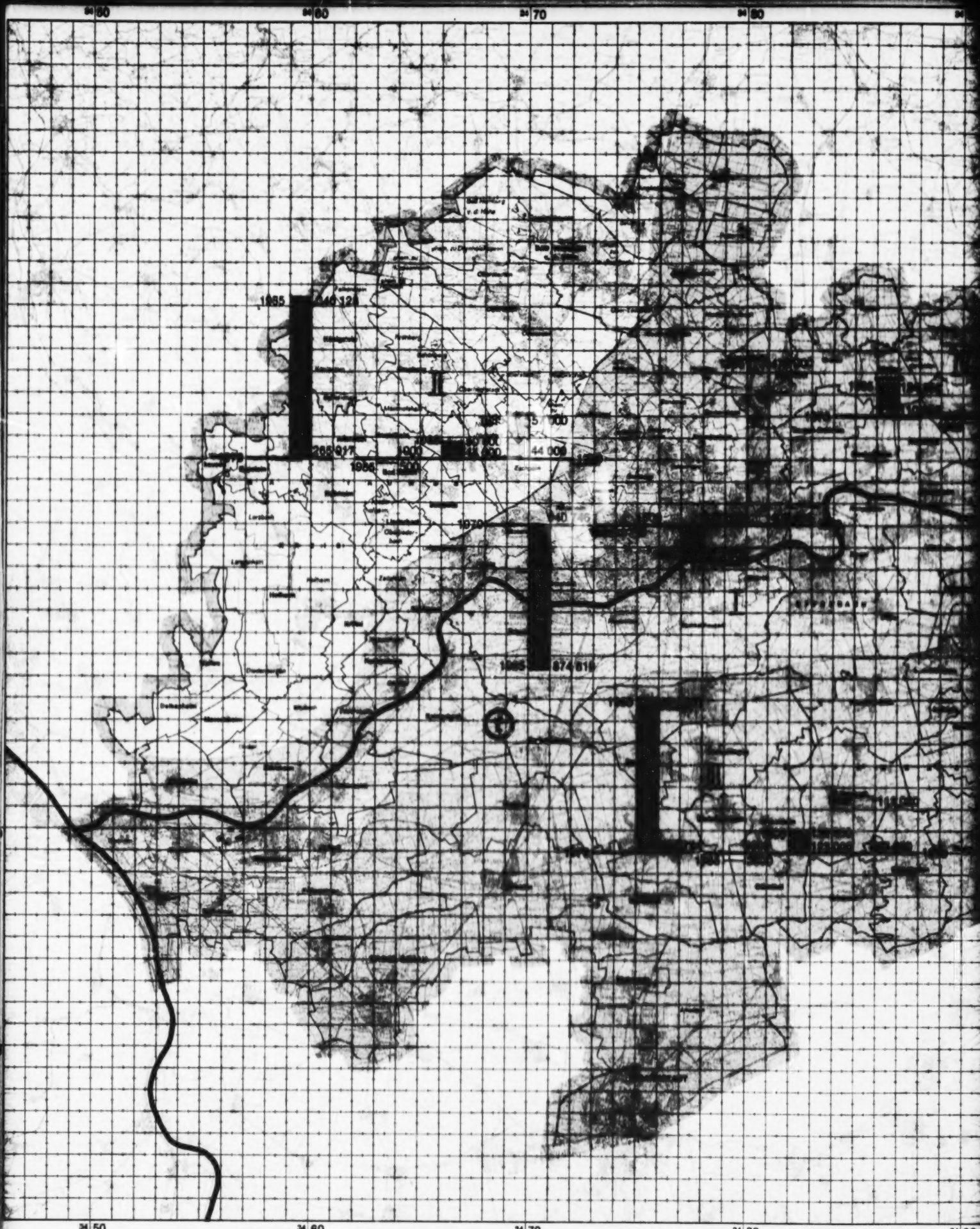
Industriezweige	Anteil %
Teilgebiet I:	
Chemie	35
Elektrotechnische Industrie	30
Maschinenbau	10
Fahrzeugbau	8
Rest	17
Gesamtindustrie	100
Anteil am Untersuchungsgebiet abs. 312 800 Beschäftigte	62
Veränderung 70–85 – 14 200	
Teilgebiet II:	
Elektrotechnische Industrie	30
Maschinenbau	22
Ernährungs-, Genußmittelindustrie	11
Papier und Pappe verarbeitende Industrie	10
Rest	27
Gesamtindustrie	100
Anteil am Untersuchungsgebiet abs. 50 600 Beschäftigte	10
Veränderung 70–85 + 6600	
Teilgebiet III:	
Maschinenbau	25
Chemie	22
Eisen-, Blech- und Metallwaren-Industrie	15
Elektrotechnische Industrie	12
Rest	26
Gesamtindustrie	100
Anteil am Untersuchungsgebiet abs. 132 000 Beschäftigte	26
Veränderung 70–85 + 9000	
Teilgebiet IV:	
Maschinenbau	28
Elektrotechnische Industrie	25
Chemie	10
Ernährungs-, Genußmittel-Industrie	8
Rest	39
Gesamtindustrie	100
Anteil am Untersuchungsgebiet abs. 11 000 Beschäftigte	2
Veränderung 70–85 + 3000	

Table 1: Secondary sector – prognosis till 1985

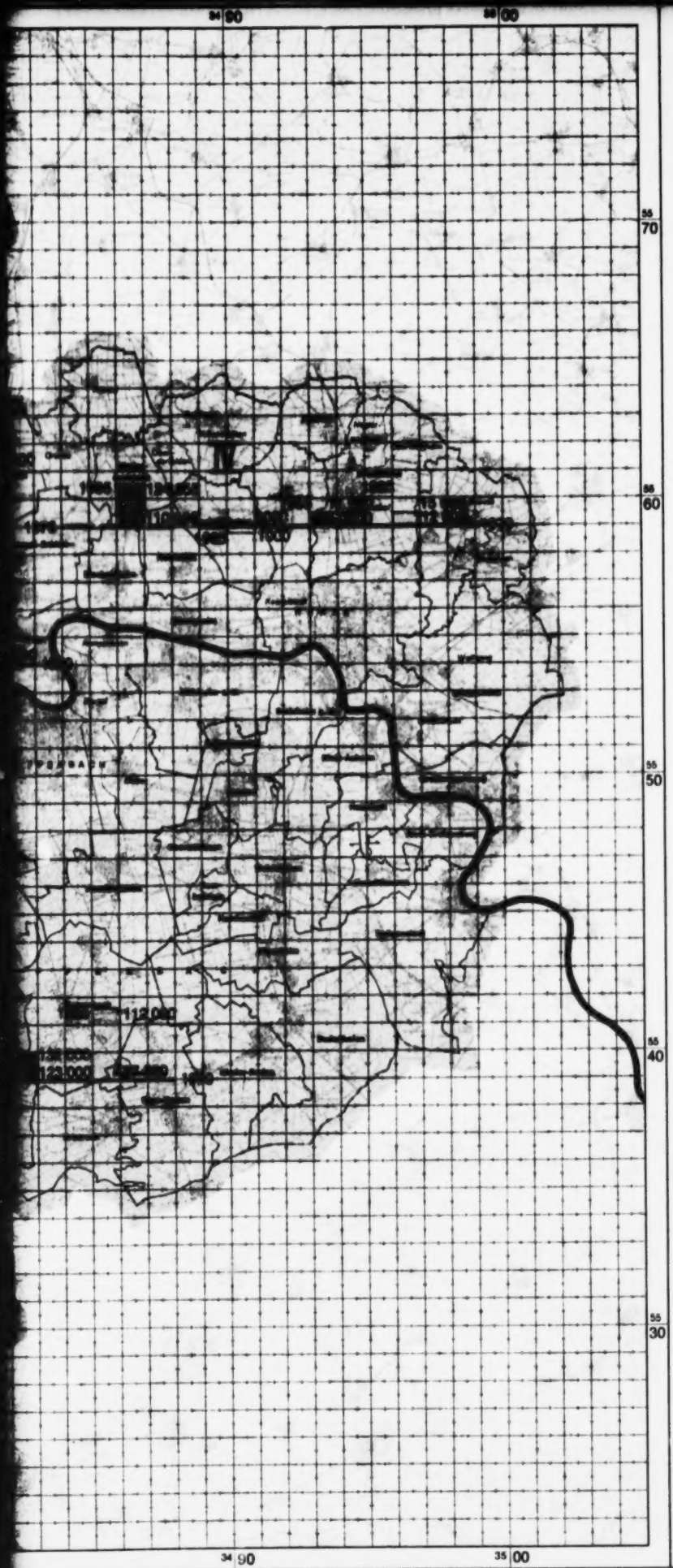
Industrial branches	Share %
Sub area I:	
Chemistry	35
Electrotechnical industry	30
Mechanical engineering	10
Vehicle engineering	8
Rest	17
Total industry	100
Share at investigation area abs. 312.800 employees	62
Change 70–85 – 14.200	
Sub area II:	
Electrotechnical industry	30
Mechanical engineering	22
Provisions and fine foods	11
Paper and cardboard manufacturing industry	10
Rest	27
Total industry	100
Share at investigation area abs. 50.600 employees	10
Change 70–85 + 6600	
Sub area III:	
Mechanical engineering	25
Chemistry	22
Iron-, thin-plate-, hardware-industry	15
Electrotechnical industry	12
Rest	26
Total industry	100
Share at investigation area abs. 132.000 employees	26
Change 70–85 + 9000	
Sub area IV:	
Mechanical engineering	28
Electrotechnical industry	25
Chemistry	10
Provisions and fine foods	8
Rest	39
Total industry	100
Share at investigation area abs. 11.000 employees	2
Change 70–85 + 3000	

Im Teilgebiet II, auf das 16% des Beschäftigtenzuwachses entfallen, wird im Prognosezeitraum ebenfalls ein starker Zuwachs erwartet, da sich die erwähnten Standortvorteile zunehmend auch im Vortaunus anbieten. Der Zuwachs von 21% im Teilgebiet III resultiert neben der Verbesserung der Versorgung der dort ansässigen Bevölkerung aus der künftigen Bedeutung der Stadt Darmstadt, in der wichtige Teile der öffentlichen Verwaltung sowie Bildungseinrichtungen des Landes Hessen bereits vorhanden sind. Bei der relativ geringen Standortgunst im Teilgebiet IV kann das erwartete Wachstum des tertiären Sektors nur im Zusammenhang mit der verbesserten Versorgung der ansässigen Bevölkerung gesehen werden und fällt nicht sehr ins Gewicht.

In sub-area II to which 16% of the increase of employees pass to, a strong increase is also expected for the prognosis period as the mentioned location advantages offer themselves also in the fore-Taunus region. The increase of 21% in sub-area III results – besides the improvements of supply of the residents – in the future importance of the city Darmstadt where important parts of public administration as well as educational establishments of the state Hessen are already available. With the relative small favour of location in sub-area IV the expected increase of the tertiary sector can only be seen in connection with the improved supply of the residents and is not of importance.



Bearbeitet von der Regionalen Planungsgemeinschaft Untermain



Karte 32
Map 32

Bevölkerungs- und Beschäftigtenentwicklung 1970–85 nach Teilgebieten
Development of population and employees 1970–85 by sub areas

10 000 Einwohner bzw. Beschäftigte, Veränderung 1970–1985
10,000 inhabitants resp. employees, change 1970–1985

Teilgebiet I
Sub area I

Teilgebiet II
Sub area II

Teilgebiet III
Sub area III

Teilgebiet IV
Sub area IV

Einwohner
Inhabitants

Beschäftigte
in Land- und Forstwirtschaft – primär
Employees
in agriculture and forestry – primary

Beschäftigte
im Prod. Gewerbe – sekundär
Employees
in the producing trade – secondary

Beschäftigte
im Dienstleistungssektor – tertiär
Employees
in the service sector – tertiary

Verkehrsflughafen
Airport

Wasserstraßen
Water ways

Grenze des Untersuchungsgebietes
Border of the investigation area

Landesgrenze
State border

Kreisgrenze
District border

Gemeindegrenze
Community border

Ortsteilgrenze
Quarter border

4 km²
1

Maßstab, Scale 1 : 200 000

0 2 4 6 8 10 12 km

Tabelle 2: Tertiärer Sektor – Prognose bis 1985

Industriezweige	Anteil %
Teilgebiet I:	
Anteil am Untersuchungsgebiet abs. 476 000 Beschäftigte	61
Veränderung 70–85 + 74 000	
Teilgebiet II:	
Anteil am Untersuchungsgebiet abs. 57 000 Beschäftigte	16
Veränderung 70–85 + 19 000	
Teilgebiet III:	
Anteil am Untersuchungsgebiet abs. 112 000 Beschäftigte	21
Veränderung 70–85 + 25 000	
Teilgebiet IV:	
Anteil am Untersuchungsgebiet abs. 15 000 Beschäftigte	2
Veränderung 70–85 + 3000	

Table 2: Tertiary sector – prognosis till 1985

Industrial branches	Share %
Sub area I:	
Share at investigation area abs. 476.000 employees	61
Change 70–85 + 74.000	
Sub area II:	
Share at investigation area abs. 57.000 employees	16
Change 70–85 + 19.000	
Sub area III:	
Share at investigation area abs. 112.000 employees	21
Change 70–85 + 25.000	
Sub area IV:	
Share at investigation area abs. 15.000 employees	2
Change 70–85 + 3000	

7.3. Der Energiebedarf im Jahre 1985

Mit der Berechnung des Energiebedarfs sollen die durch den Verbrennungsvorgang verursachten Emissionen von SO_2, Staub und CO erfaßt werden. Aus diesem Grunde beschränkt sich diese Berechnung auf den Bedarf von festen, flüssigen und gasförmigen Brennstoffen, wobei der Bedarf im industriellen Bereich den „Endenergiebedarf" und den „Energiebedarf im Umwandlungssektor" (öffentliche und industrielle Kraftwirtschaft und Eigenbedarf) beinhaltet (siehe dazu auch Kap. 2.2.1.).

7.3.1. Methode zur Berechnung des Energiebedarfs

Die Gesamtberechnung des Energiebedarfs wurde aus dem bei der Erstellung des Emissionskatasters für das Jahr 1971 ermittelten Energieverbrauch abgeleitet. Hier werden die methodischen Ansätze getrennt nach den drei Bereichen erläutert.

7.3.1.1. Industrie

Drei Elemente wurden bei der Berechnung des Energieverbrauchs der Industrie berücksichtigt:

1. Der Brennstoffverbrauch aus dem Emissionskataster nach Energieträgern für das Jahr 1971 (Ausgangsbasis).
2. Der Energiebedarf für das Land Hessen für das Jahr 1985 (absolut).
3. Der anteilmäßige Brennstoffbedarf nach Energieträgern für das Jahr 1985.

7.3. The need of energy in the year 1985

By the calculation of the need of energy the emissions of SO_2, dust and CO caused by the combustion process shall be sized. For this reason this calculation confines on the need of solid, liquid, and gaseous fuels whereas the need in the industrial sector contains the "final need of energy" and the "need of energy in the transformation sector" (public and industrial power economy and one's own requirement) (see chapter 2.2.1.).

7.3.1. Method for the calculation of the need of energy

The total calculation of the need of energy was derived from the consumption of energy which was discovered when putting up the emission inventory for the year 1971. The methodical statements are demonstrated here seperately by the three sectors.

7.3.1.1. Industry

Three elements were considered when calculating the consumption of energy for the industry:

1. the consumption of fuel derived from the emission inventory by energy carriers for the year 1971 (starting basis),
2. the need of energy for the state Hessen for 1985 (absolute),
3. the proportional need of fuel by energy carriers for the year 1985.

Preceding page blank

Der Energiebedarf des Landes Hessen wurde einer Studie des DIW (10) entnommen, wobei der Brennstoffeinsatz für den „Endenergiebedarf" (öffentliche und industrielle Kraftwirtschaft) nach der dort enthaltenen Alternative II[1] berechnet wurde.

Wie aus der Karte 33 zu ersehen ist, setzt sich das Untersuchungsgebiet aus einem Teil der Planungsregion Untermain und einem Teil der Planungsregion Starkenburg zusammen. Da aber die DIW-Studie ihre Ergebnisse auf das Land bzw. die Region bezieht, mußte ermittelt werden, welcher Anteil des jeweiligen regionalen Brennstoffverbrauchs dem Untersuchungsgebiet zuzurechnen war. Dies geschah unter Berücksichtigung der geographischen Beschäftigtenverteilung (s. Kap. 1.3. und 1.2.).

Vom "Endenergiebedarf",[2] der regionsweise vorliegt, wurden 90% des Wertes der Region Untermain und 70% des Wertes der Region Starkenburg dem Untersuchungsgebiet zugerechnet. Um den „Energiebedarf im Umwandlungssektor" zu erhalten, wurde der gefundene Wert von dem mit Hilfe des Emissionskatasters gefundenen Energieverbrauch abgezogen. Aus dem prozentualen Anteil des Energieverbrauchs im „Umwandlungssektor"[3] im Jahr 1971 wurde der entsprechende Anteil für das Jahr 1985 genommen und dem in der DIW-Studie enthaltenen Endenergieverbrauch für das Jahr 1985 zugerechnet. Dabei wurde unterstellt, daß der prozentuale Anteil des Energieverbrauches im Umwandlungssektor gegenüber dem Endenergieverbrauch über die Zeit konstant bleibt. Die Summe beider Werte (Endenergieverbrauch und Verbrauch im Umwandlungssektor) ergab den vergleichbaren Bedarf für 1985 zu dem vorhandenen Verbrauch aus dem Emissionskataster für 1971.

Die anteilmäßige Entwicklung einzelner Brennstoffarten wurde ebenfalls aus der DIW-Studie (10) übernommen, wobei auch die Ergebnisse einer BP-Prognose (11) berücksichtigt wurden.

Die möglichen Auswirkungen der neuen Preisentwicklungen auf dem Rohölmarkt, sowie die darauf folgende neue Energiepolitik der Bundesregierung wurden hier nicht berücksichtigt, da hierüber keine verwertbaren Vorstellungen vorliegen.

7.3.1.2. Haushalte

Der künftige Brennstoffbedarf der Haushalte und Kleinverbraucher wird als Funktion des Wohnungsbestandes, des durchschnittlichen Brennstoffverbrauchs

[1] Alternative I sieht vor, daß die durch den Anstieg des Stromverbrauchs entstehende Energielücke durch zusätzliche Lieferungen aus nicht-hessischen Kraftwerken geschlossen werden kann. Alternative II sieht vor, daß die oben genannten Lücken durch weitere umfangreiche Zubauten an Kraftwerkkapazitäten geschlossen wird (10).

[2] Endenergieverbrauch ohne Strom.

[3] Brennstoffverbrauch in der öffentlichen und industriellen Kraftwirtschaft ohne Wasser und Kernkraftenergie.

The need of energy of the state Hessen was derived from a study by DIW (10) where the application of fuel for the "final need of energy" (public and industrial power economy) was calculated on the included alternative II[1].

As to be seen from map 33 the investigation area is put together with a part of the planning region Lower Main and part of the planning region Starkenburg. As the DIW-study relates its results to the state respectively the region it had to be discovered which share of each regional consumption of energy had to be added to the investigation area. This was done by considering the geographic distribution of employees (see chapter 1.3. and 1.2.).

90% of the values of the Lower Main region and 70% of the values of the region Starkenburg of the "final need of energy"[2] which is available by regions were added to the investigation area. To get the "need of energy in the transformation sector" the received value was subtracted from the need of energy which was received by the help of the emission inventory. The according share of the need of energy in the "transformation sector"[3] for the year 1971 was added to the final consumption of energy for the year 1985, which is contained in the DIW-study. Therewith it was assigned that the percental share of consumption of energy in the transformation sector will be constant opposite to the final consumtion of energy. The sum of both values (final consumption of energy and consumption in the transformation sector) resulted in the comparable need for 1985 to the existing consumption derived from the emission inventory for 1971.

The proportional development of single types of fuel was taken from the DIW-study (10) also whereby the results of a BP-prognosis (11) were also considered.

The possible reactions of the new price development on the crude-oil-market as well as the new energy policy of the Federal Government were not considered as no useful imaginations are available.

7.3.1.2. Households

The future need of fuel of residential and small consumers is adopted as function of the housing supply of the average consumption of fuel per home and the

[1] Alternative I stipulates that the gap of energy developed by the increase of the consumption of electricity can be closed by additional supplies out of non-Hessian powerstations. Alternative II stipulates that the above mentioned gaps can be closed by further extensive additional buildings to the capacities of power stations (10).

[2] Final consumption of energy without electricity.

[3] Consumption of fuel in the public and industrial power economy without water and nuclear energy.

Karte 33
Map 33
HESSEN
NIEDER-
SACHSEN
NORDRHEIN-
WESTFALEN
WALDECK
KASSEL
WITZENHAUSEN
MELSUNGEN
ESCHWEGE
FRANKENBERG
FRITZLAR-HOMBERG
HERSFELD
ROTENBURG
ZIEGENHAIN
BIEDENKOPF
MARBURG
DILLKREIS
THÜRINGEN
VOGELSBERGKREIS
WETZLAR
GIESSEN
FULDA
OBERLAHNKREIS
LIMBURG
WETTERAUKREIS
SCHLÜCHTERN
HOCH-
TAUNUSKREIS
UNTERTAUNUSKREIS
GELNHAUSEN
MAIN-
TAUNUS
KREIS
HANAU
FRANKFURT
WIESBADEN
RHEINGAUKREIS
OFFENBACH
BAYERN
RHEINLAND-
PFALZ
GROSS-
GERAU
DARMSTADT
DIEBURG
ODENWALD-
KREIS
BERGSTRASSE
BADEN-
WÜRTTEM-
BERG
400 km²
100
25
5
10
20
30
40 km
Grenze des Untersuchungsgebietes
Border of the investigation area
Region Untermain
Region Starkenburg
Landesgrenze
State border
Regierungsbezirksgrenze
Border of administrative district
Kreisgrenze
District border
Bearbeitet von der Regionalen Planungsgemeinschaft Untermain

je Wohnung und der klimatischen Bedingungen angenommen. Ausgehend von den für das Jahr 1971 ermittelten Werten wurde der mittlere Brennstoffverbrauch pro Wohnung für 1971 errechnet.

$$Bw = Bg \cdot \frac{Pw}{Eg}$$

Bw = Brennstoffverbrauch pro Wohnung
Bg = Brennstoffverbrauch gesamt
Pw = Personendichte pro Wohnung
Eg = Einwohner gesamt

Bis zum Jahre 1985 wurde eine Bevölkerungszunahme von ca. 81 000 Einwohner (s. 7.2.1.) angenommen, wobei die Personendichte pro Wohnung von 2,7 auf 2,03 sinken soll (10). Der Einfluß der klimatischen Bedingungen wurde als konstant betrachtet und bei der Berechnung nicht berücksichtigt. Die anteilmäßige Entwicklung des Brennstoffverbrauches für den Haushalt wurde auch aus den o. g. Studien übernommen (10, 11).

7.3.1.3. Verkehr

Für den Verkehr war die Berechnung des Brennstoffbedarfs nicht notwendig, da die Emissionen der einzelnen Verkehrsträger (Kraftfahrzeuge, Flugzeuge) unter Anwendung des Verkehrsaufkommens und entsprechender Emissionsfaktoren (s. Kap. 2.2.3.) ermittelt werden konnten. Lediglich bei der Schiffahrt wurde die Zunahme des Brennstoffverbrauchs berücksichtigt, wie sie aus der DIW-Studie (10) für die Region Untermain hervorging.

Kraftfahrzeugverkehr

Im Hinblick auf das für den Kraftfahrzeugverkehr erfaßte Gebiet (Städte Frankfurt und Hanau) und auf die vorhandene starke Belastung des Straßennetzes kann angenommen werden, daß nur eine sehr beschränkte Zunahme des Kfz.-Aufkommens möglich ist. Hinzu kommt die Neuorientierung der Verkehrspolitik in Ballungsgebieten mit der Förderung des öffentlichen Verkehrsnetzes und der Schaffung von autofreien Zonen in innerstädtischen Bereichen. Auch die steigende finanzielle Belastung für die Haltung und Nutzung eines Pkw wird vermutlich von Relevanz sein. Aus diesen Gründen wurden zwei Hypothesen aufgestellt, die extreme Möglichkeiten der Entwicklung des Verkehrsaufkommens im städtischen Bereich darstellen:

Hypothese I: Kein Zuwachs des Kfz.-Verkehrsaufkommens.

Hypothese II: Der Zuwachs des Pkw-Verkehrsaufkommens steigt um 5,8 % bis 1985.

Diese Zuwachsrate wurde aus einer Studie der Deutschen Shell AG (13) über die Pkw-Bestandsentwick-

climatic conditions. Starting from the values ascertained for the year 1971 the mean consumption of fuel per home was calculated for the year 1971.

$$Bw = Bg \cdot \frac{Pw}{Eg}$$

Bw = consumption of fuel per home
Bg = total fuel consumption
Pw = density of persons per home
Eg = total inhabitants

An increase of population of about 81,000 inhabitants (see 7.2.1.) was calculated up to 1985 whereas the density of persons per home is supposed to diminish from 2.7 to 2.03 (10). The influence of the climatic conditions was looked at as a constant one and it was not considered in the calculation. The proportional development of the fuel consumption for the household was also taken from the above mentioned studies (10, 11).

7.3.1.3. Traffic

The calculation of the need of fuel was not necessary for the traffic as the emissions of the single types (vehicles, planes) could be found by taking the traffic volume and the according emission factors (see chapter 2.2.3.). The increase of the fuel consumption was considered for the shipping traffic only as it is published in the DIW-study (10) for the Lower Main region.

Vehicle traffic

In view of the area seized on the vehicle traffic (cities Frankfurt and Hanau) and the given heavy load of the roads it may be assumed that only a very limited increase of the vehicle capacity will be possible. The new orientation of traffic policy in densely populated areas with the advancement of public transportation and the creation of zones in the city areas without cars can be added. Also the rising financial load for keeping and driving cars will be of importance. For these reasons two hypotheses were put up which illustrate the extrem possibilities of the development of the traffic volume in the city areas:

hypothesis I: no increase of the vehicle volume,

hypothesis II: the increase of the vehicle volume will raise about 5,8 % until 1985.

This rate of increase was derived from a study of the German Shell AG (13) about the vehicle stock deve-

Preceding page blank

lung „Modell B“[4] entnommen. Der Lkw-Anteil wurde wegen seiner geringen Bedeutung gegenüber dem Gesamtverkehrsaufkommen mit der gleichen Zuwachsrate berechnet.

Flugzeugverkehr

Für den Flugverkehr wurde eine Zunahme der Flugzeugbewegungen von 44,6% angenommen: 207 354 Flugzeugbewegungen im Jahr 1971, 300 000 Flugzeugbewegungen im Jahr 1985[5]. Außerdem wurde angenommen, daß die gleiche Zeit zur Abwicklung des LTO-Zyklus wie im Jahre 1971 benötigt wird und daß sich die Struktur des Flugzeugbestandes nicht ändert.

Schiffsverkehr

Wie bereits angedeutet, war es bei der Ermittlung der Emissionen des Schiffsverkehrs notwendig, entsprechend den Berechnungen für das Jahr 1971, den Brennstoffverbrauch zu ermitteln. Aus der DIW-Studie (10) wurde eine Zunahme von 54,9% bis 1985 angenommen.

7.3.2. Ergebnisse

Mit Hilfe der oben angegebenen Methoden wurde folgende Entwicklung des Brennstoffbedarfes bis zum Jahre 1985 für die drei Bereiche ermittelt.

Industrie

Für den industriellen Endenergiebedarf wird eine rasche Abnahme des festen Brennstoffverbrauchs prognostiziert. Im Jahre 1985 soll keine Kohle mehr benutzt werden[6]. Im Umwandlungssektor dagegen beträgt der Anteil an festen Brennstoffen im Jahre 1985 noch fast 20%. Der Gasverbrauch nimmt stark zu, wobei die bedeutendste Zunahme im Endenergieverbrauch erfolgt. 255 10^6 kg SKE im Jahre 1971 stehen 2270 10^6 kg SKE im Jahre 1985 gegenüber. Das bedeutet eine Gesamtzuwachsrate von über 700%.

Für die flüssigen Brennstoffe ist eine positive Entwicklung sowohl im Umwandlungssektor[7] als auch beim Endverbrauch zu verzeichnen.

Nachstehend wird für die Industrie der gesamte Brennstoffbedarf nach Energieträgern für das Jahr 1985 im Vergleich zum Jahre 1971 angegeben (siehe Tab. 3).

Bei der Berechnung wurden die oben erwähnte Entwicklung des Endverbrauchs und des Verbrauchs im Umwandlungssektor (10) berücksichtigt.

---

[4] Das Modell B sieht eine gebremste Motorisierung vor (siehe Seiten 8 und ff).

[5] Aus Unterlagen der FAG.

[6] siehe (10): Anlage 3.
Wir möchten hier darauf hinweisen, daß dieser Trend die möglichen Auswirkungen der Energiekrise nicht berücksichtigt; die Studie wurde im Januar 1973 veröffentlicht.

[7] siehe (10): Anlage 32, Alternative II.

lopment "Model B“[4]. The share of trucks was calculated with the same rate of increase compared to the total traffic volume because of its inferior importance.

Air traffic

An increase of plane movements of 44,6% was supposed for the air traffic: 207,354 plane movements in the year 1971, 300,000 plane movements in the year 1985[5]. In addition it was supposed that the same time for the dispatch of the LTO-cyclus is needed as in the year 1971 and that the structure of the plane stock is not changed.

Shipping traffic

As already indicated it was necessary for the calculation of the shipping emissions to figure the consumption of fuel according to the calculations for the year 1971. An increase of 54,9% until 1985 was derived from the DIW-study (10).

7.3.2. Results

By help of the above mentioned methods the following development of the need of energy was calculated for the three sectors until the year 1985.

Industry

A very fast decrease of the need of solid fuels is predicted for the industrial final need of energy. Coal will not be used any longer in the year 1985[6]. The consumption of gaseous fuel will increase very much whereas the most important increase will take place in the final consumption of energy. 255 10^6 kg SKE in the year 1971 are facing 2270 10^6 kg SKE in 1985. This means a total increase rate of more than 700%.

A positive development for liquid fuels can be listed in the transformation sector[7] as well as in the final consumption.

The total need of fuel by energy carriers for the industry is stated below for the year 1985 in comparison with the year 1971 (see table 3).

The above mentioned development of the final consumption and the consumption in the transformation sector (10) were considered in the calculation.

---

[4] Model B demonstrates a limited motorization (see pages 8 and following).

[5] Derived from papers of the FAG.

[6] see (10), annex 3.
We like to point out that this tendency does not consider any possible influences of the energy crisis; the study was published in January 1973.

[7] see (10); annex 32, alternative II.

Jahresbrennstoffverbrauch für die Industrie nach Brennstoffarten in 10^6 kg SKE **Tab. 3:**

Annual consumption of fuel for industry by types of fuel in 10^6 kg SKE **Table 3:**

Brennstoffart Type of fuel	1971 abs.*	 %*	1985 abs.*	 %*	Veränderung Change abs.*	 %*
Feste Brennstoffe Solid	1167	26	779	8	– 388	– 33
Flüssige Brennstoffe Liquid	3034	68	6251	63	3217	106
Gasförmige Brennstoffe Gaseous	255	6	2920	29	2665	1045
Gesamt Total	4456	100	9950	100	5494	123

* aufgerundet (rounded off)

Haushalt

Der mittlere Brennstoffverbrauch pro Wohnung für das Jahr 1971 betrug 3,95 10^3 kg SKE bei einer Belegungsdichte von 2,7 Einwohnern pro Wohnung.

$$Bw = 2981{,}1\ 10^6 \text{ kg SKE} \cdot \frac{2{,}7}{1860000} = 4{,}33\ 10^3 \text{ kg SKE}$$

Aus der Bevölkerungsprognose (siehe 7.2.1.) und der reduzierten Belegungsdichte (2.03 E/Wohnung) ergibt sich die Zunahme des Wohnungsbestandes von rd. 41870 Wohnungen bis zum Jahre 1985. Übernimmt man den gleichen Brennstoffverbrauch pro Wohnung aus dem Jahr 1971, dann ergibt sich eine Zunahme des Brennstoffverbrauchs bis 1985 von 1159,1 10^6 kg SKE.

$$Bg = Bw \cdot \frac{Eg}{Pw} = 4{,}33 \cdot \frac{1941000}{2{,}03} = 4140{,}2\ 10^6 \text{ kg SKE.}$$

Die anteilmäßige Entwicklung des Brennstoffbedarfs wurde aus der DIW-Studie übernommen, wobei 9,2% des Zuwachses dem Strombedarf zugeordnet wurden.

Household

The mean consumption for the year 1971 per home was 3,95 10^3 kg SKE with a density of 2,7 inhabitants per home.

$$Bw = 2981{,}1\ 10^6 \text{ kg SKE} \cdot \frac{2{,}7}{1860000} = 4{,}33\ 10^3 \text{ kg SKE}$$

The increase of the stock of homes of about 41870 homes up to the year 1985 results in the population prognosis (see 7.2.1.) and the reduced density (2,03 persons per home). Assuming the same consumption of fuel per home from the year 1971 an increase of fuel consumption of 1159,1 10^6 SKE until 1985 results in it.

$$Bg = Bw \cdot \frac{Eg}{Pw} = 4{,}33 \cdot \frac{1941000}{2{,}03} = 4140{,}2\ 10^6 \text{ kg SKE.}$$

The proportional development of the need of fuel was derived from the DIW-study whereas 9,2% of the increase were aded to the need of electricity. The shares

Jahresbrennstoffverbrauch für die Haushalte in 10^6 kg SKE nach Brennstoffarten **Tab. 4:**

Annual consumption of fuel for households in 10^6 kg SKE by types of fuel **Table 4:**

Brennstoffart Type of fuel	1971 abs.	 %	1985 abs.	 %	Veränderung Change abs.	 %
Feste Solid	894,3	30,0	0	0	– 894,3	– 100
Flüssige Liquid	1953,8	65,5	2718,0	72,3	764,2	39,1
Gasförmige Gaseous	133,0	4,5	1041,3	27,7	908,3	682,9
Gesamt Total	2981,1	100,0	3759,3	100,0	778,2	26,1

Die Anteile der zwei Regionen wurden nicht berücksichtigt, weil die prozentuale Entwicklung einzelner Brennstoffarten in beiden Fällen als gleich angenommen wird[8] (siehe Tab. 4).

of the two regions were not considered as the percental development of single types of fuel were assumed as the same in both cases[8] (see Tab. 4).

Verkehr

Die Emissionswerte für den Kfz.- und Flugverkehr wurden in Abweichung von der Methode für Industrie und Haushalt nicht über den Brennstoffbedarf genommen, da sich bereits bei der Ermittlung des Brennstoffverbrauchs im Jahr 1971 unüberwindbare Schwierigkeiten ergaben. Die Methode, diese Werte aus Verkehrsaufkommen und Emissionsfaktoren (siehe 7.3.1.3.) zu gewinnen, erscheint jedoch zumindest für die Stadtgebiete Frankfurt und Offenbach gleichwertig.

Traffic

On the opposite of the method for industry and household the emission values for the vehicle- and air traffic were not taken over the need of fuel as already in 1971 unconquerable difficulties showed up when calculating the fuel consumption. The method of receiving these values out of the traffic volume and emission factors (see 7.3.1.3.) seems to be the same at least for the cities Frankfurt and Offenbach.

Die Werte für den Schiffsverkehr wurden wiederum der DIW-Studie entnommen. Hier wird mit einer Zunahme der Schiffsbewegungen von 54,9% bis zum Jahr 1985 gerechnet (10). Daraus ergibt sich eine Zunahme des Dieselölverbrauchs von 3866,5 10^3 kg, und damit ein Gesamtdieselölbedarf von 10909,3 10^3 kg im Jahr 1985.

The values for the shipping traffic were again derived from the DIW-study. An increase of 54.9% until the year 1985 is expected for the ship-movements (10). An increase of 3866,5 10^3 kg of diesel oil consumption results in this and therewith a total need of diesel oil of 10909,3 10^3 kg in the year 1985.

7.4. Emissionen im Jahre 1985

7.4. Emissions in the year 1985

7.4.1. Methode zur Berechnung der Emissionen

7.4.1. Method for calculating the emissions

Aufgrund der oben dargestellten Entwicklung des Brennstoffbedarfs werden nun die Emissionen für das Jahr 1985 für die drei Bereiche errechnet. Dabei sind folgende Annahmen zu berücksichtigen:

By help of the above illustrated development of the fuel need the emissions are now calculated for the three sectors for the year 1985. The following assumptions have to be considered:

1. Qualität und Schwefelgehalt der verwandten Brennstoffe bleiben dem Ausgangsjahr 1971 gegenüber unverändert.

1. Quality and sulfur contents of the used fuels stay equal to the year 1971.

2. Mögliche Maßnahmen zur Verringerung der Emissionen werden nicht berücksichtigt.

2. Possible arrangements for reducing emissions are not considered.

3. Die strukturelle Entwicklung nach Energieträgern erfolgt wie in den o. g. Studien (10 und 11) angegeben. Eventuelle Rückwirkungen durch die Energiekrise oder das unlängst verabschiedete Bundes-Immissionsschutzgesetz werden nicht berücksichtigt.

3. The structural development by energy carriers happens as stated in the above mentioned studies (10, 11). Possible retroactions by the energy crisis or by the lately passed Federal Immission Law are not considered.

7.4.2. Ergebnisse

7.4.2. Results

Die im Jahre 1985 zu erwartenden Emissionen sind in den folgenden 3 Tabellen wiederum getrennt nach Industrie, Haushalt und Verkehr dargestellt. Auf eine Darstellung der Ergebnisse im Gauß-Krüger-Netz wurde verzichtet, da hierzu weitere Schätzungen notwendig geworden wären, deren Aussagewert nicht zu verantworten wäre. Vielmehr sollen die unten aufgeführten Tabellen einen Überblick verschaffen, welche möglichen Tendenzen zu erkennen sind, wenn sich die oben angegebenen Annahmen verwirklichen sollten (siehe Tab. 5, 6, 7).

The emissions which are to be expected in the year 1985 are illustrated in the following 3 tables seperated by industry, households and traffic. It was renounced to illustrate the results in the Gauß-Krüger-Net as further estimations would have been necessary, statements of which could not accounted to. The below stated tables shall give a survey which possible tendencies are to be recognized if the above mentioned assumptions should become reality (see Tab. 5, 6, 7).

[8] siehe (10): Seite 17 und Anlage 8.

[8] see (10), page 17 and annex B.

Gesamtemissionen der Industrie für die Jahre 1971 und 1985 in 10^3 kg **Tab. 5:**

Total emissions of industry for the years 1971 and 1985 in 10^3 kg **Table 5:**

Brennstoffart Type of fuel	SO_2 1971	SO_2 1985	SO_2 Veränd./Change abs.	SO_2 Veränd./Change %	Staub/Dust 1971	Staub/Dust 1985	Staub/Dust Veränd./Change abs.	Staub/Dust Veränd./Change %
Feste Solid	25347,0	16919,7	– 8427,3	– 33	1809,0	1207,5	– 601,5	– 33
Flüssige Liquid	63380,7	130584,3	67203,6	106	2987,9	6156,0	3168,1	106
Gasförmige Gaseous	2364,3	27073,5	24709,2	1045	u	u	–	–
Gesamt Total	91092,0	174577,5	83485,5	91,65	4796,8	7363,5	2566,6	53,5

u = unberücksichtigt / not considered

Gesamtemissionen des Hausbrandes für die Jahre 1971 und 1985 in 10^3 kg **Tab. 6:**

Total emissions of residential combustion for the years 1971 and 1985 in 10^3 kg **Table 6:**

Brennstoffart Type of fuel	SO_2 1971	SO_2 1985	SO_2 Veränd./Change abs.	SO_2 Veränd./Change %	Staub/Dust 1971	Staub/Dust 1985	Staub/Dust Veränd./Change abs.	Staub/Dust Veränd./Change %	CO 1971	CO 1985	CO Veränd./Change abs.	CO Veränd./Change %
Feste Solid	7922,8	0	– 7922,8	– 100	4253,3	0	– 4253,2	– 100	31122,6	0	– 31122,6	– 100
Flüssige Liquid	13424,8	18675,7	5250,9	39,1	2257,5	3361,2	1103,7	39,1	6916,1	9620,3	2704,2	39,1
Gasförmige Gaseous	660,2	5168,7	4508,5	682,9	32,7	256,0	223,3	682,9	384,2	3007,9	2623,7	682,9
Gesamt Total	22007,8	23844,4	1836,6	8,3	6543,5	3617,2	– 2926,3	– 44,7	38422,9	12628,2	– 25794,7	– 67,1

Im Bereich Verkehr werden nur die Emissionen nach Hypothese II (Zunahme der Kfz.: siehe Kap. 7.3.1.3.) berechnet. Nach Hypothese I liegen die Emissionswerte entsprechend niedriger. Es wird außerdem angenommen, daß die Entwicklung des Lkw-Verkehrsaufkommens mit der gleichen Zuwachsrate erfolgt wie bei den Pkw.

Allgemein kann die positive Entwicklung der Gesamtemissionen bei den stationären Emittenten besonders hervorgehoben werden. Sie ist auf den erheblichen Rückgang der Verbrennung fester Brennstoffe (bei den Haushalten erreicht der Rückgang den Nullstand) und auf eine sehr große Zunahme der Verbrennung gasförmiger Brennstoffe zurückzuführen. In diesem Zusammenhang wäre interessant, die Zunahme anderer Schadstoffe (z. B. Stickoxide) zu untersuchen.

Im Bereich Verkehr stellen die in der Tabelle 7 enthaltenen Kfz.-Emissionen das Ergebnis einer Entwicklung dar, die sicherlich die höchste Grenze der möglichen Zunahme des Verkehrsaufkommens in dem untersuchten Gebiet (Städte Frankfurt und Hanau) ist.

In the sector traffic emissions are only calculated by hypothesis II (increase of vehicles, see chapter 7.3.1.3.). The emission values by hypothesis I are accordingly lower. It is also asumed that the development of the truck-volume has the same increase rate as the vehicles.

Generally the positive development of the total emission can be especially pointed out at the stationary emittent. It can be reconducted on the considerable decrease of the combustion of solid fuels (in households the decrease reaches point zero) and the very large increase of combustion of gaseous fuels. In this connection it would be interesting to investigate the increase of other components (i. e. nitric oxides).

The vehicle emissions contained in table 7 demonstrate the result of a development in the sector traffic which surely represents the highest limit of possible increase of the traffic volume in the investigation area (cities Frankfurt and Hanau).

Tab. 7: Gesamtemissionen des Verkehrs für die Jahre 1971 und 1985 in 10^3 kg

Table 7: Total emissions of traffic for the years 1971 and 1985 in 10^3 kg

Verkehrsart Type of traffic	SO_2 1971	1985	Veränderung/Change abs.	%	CO 1971	1985	Veränderung/Change abs.	%
Kfz/Motor vehicles Frankfurt	378,6	400,6	22,0	5,8	54941,3	58127,9	3186,6	5,8
Kfz/Motor vehicles Hanau	37,5	39,7	2,2	5,8	4740,3	5015,2	274,9	5,8
Kfz/Motor vehicles total	416,1	440,3	24,2	5,8	59681,6	63143,1	3461,5	5,8
Schiffsverkehr Shipping traffic	75,7	114,4	38,7	51,1	226,9	342,9	116,0	51,1
Flugverkehr Air traffic	u	u	–	–	2692,4	3895,3	1202,9	44,7
Gesamtverkehr Total traffic	491,8	554,7	62,9	12,8	62600,9	67381,3	4780,4	7,6

u = unberücksichtigt / not considered

Nachstehend wird die Entwicklung der Gesamtemissionen nach einzelnen Schadstoffen angegeben. Dabei ergibt sich ein Rückgang der Staubemissionen und der CO-Emissionen.

Listed below is the development of the total emissions seperated by the single components. A decrease of dust emissions and of CO-emissions results from this.

Tab. 8: Gesamtemissionen nach Schadstoffen für die Jahre 1971 und 1985 in 10^3 kg

Table 8: Total emissions by components for the years 1971 and 1985 in 10^3 kg

Schadstoff Component	1971	1985	Veränderung/Change abs.	%
SO_2	113591,6	198976,t	85385,	75,1
Staub/Dust	11340,3	10980,7	– 359,6	– 3,2
CO	101023,8	80009,5	21014,3	– 20,8

Zum Schluß sei erneut darauf hingewiesen, daß eine andere anteilmäßige Entwicklung des Brennstoffverbrauchs (geringere Zunahme des Ölverbrauchs zu Gunsten des Kohleverbrauchs) aufgrund der neuen Energiepolitik der Bundesregierung plausibel erscheint. Diese Möglichkeit wurde hier aber aus mangelnden Datenunterlagen nicht weiter verfolgt.

Finally it has to be pointed out again that a different proportional development of fuel consumption seems to make sense (smaller increase of oil consumption in favour of coal consumption) on basis of the new energy policy of the Federal Government. This possibility cannot be followed yet because of the lack of data.

7.5. Literatur/Literature:

(1) Lufthygienisch-meteorologische Modelluntersuchung in der Region Untermain RPU, 1. Arbeitsbericht 1970

(2) Lufthygienisch-meteorologische Modelluntersuchung in der Region Untermain RPU, 2. Arbeitsbericht 1971

(3) Lufthygienisch-meteorologische Modelluntersuchung in der Region Untermain RPU, 4. Arbeitsbericht 1972

(4) Luftreinhaltung als Faktor der Stadt- und Regionalplanung; F. S. Dreyhaupt TÜV Rheinland, Umweltschutz Heft 1971

(5) Emissionskataster Köln Minister für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen, 1972

(6) Luftverkehrsentwicklung, Statistischer Jahresbericht 1972 Zentralstatistik, Flughafen Rhein-Main-AG

(7) Untersuchungen zur Ermittlung der Luftverunreinigung durch startende und landende Flugzeuge auf dem Flughafen Düsseldorf-Lohhausen
Landesanstalt für Immissions- und Bodennutzungsschutz des Landes Nordrhein-Westfalen

(8) Bericht der Arbeitsgruppe „Verkehr" bei der Erarbeitung des Umweltprogrammes der Bundesregierung

(9) Regionalprognosesystem; J. Krebs
RPU, 1973

(10) Die Regionalen Entwicklungstendenzen des Energieverbrauchs in Hessen und seinen 5 Planungsregionen bis 1985
Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Berlin 1973

(11) Energie '85 – Daten und Tendenzen der energiewirtschaftlichen Entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland
BP Benzin und Petroleum AG, Hamburg 1972

(12) Großer Hessenplan, Landesentwicklungsplan
Hessischer Ministerpräsident, Wiesbaden 1970

(13) Prognose des Pkw-Bestandes, No. 6
Deutsche Shell AG, September 1973

(14) Air Pollution, No. 6, Appendix A, Assessment of Air Quality in Ankara, Turkey
Committee on the Challenges of Modern Society

(15) Air Pollution, No. 6, Appendix B, Assessment of Air Quality in St. Louis, Missouri, USA
Committee on the Challenges of Modern Society

Verzeichnis der beteiligten Institute und Referenten

List of the engaged institutes and referees

Institut Institute	Referenten Referees
Botanisches Institut der Justus-Liebig-Universität, Botanik II/Pflanzenökologie 6300 Gießen, Senckenbergstraße 18–21	Dr. Kirschbaum, U. Dr. Klee, R Prof. Dr. Steubing, L.
Deutscher Wetterdienst 6050 Offenbach, Frankfurter Straße 135	Dipl.-Met. Bartels, H. Dipl.-Ing. Caspar, J. W. Dipl.-Met. Scharrer, H.
Institut für Meteorologie und Geophysik an der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität Pilotstation 6000 Frankfurt 1, Feldbergstraße 47	Dipl.-Phys. Markusch, H. Dr. Jost, D. Dipl.-Met. Kaller, R. S. Dipl.-Met. Rudolf, W.
Institut für Theoretische Meteorologie der Freien Universität Berlin 1000 Berlin 33, Thielallee 49	Prof. Dr. Fortak, H.
Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes 1000 Berlin 33, Corrensplatz 1	Prof. Dr. Lahmann, E.
Meß- und Prüfstelle für die Gewerbeaufsichts- verwaltung des Landes Hessen 3500 Kassel, Ludwig-Mond-Straße 33 b	Dipl.-Phys. Körner, H. J.
Regionale Planungsgemeinschaft Untermain 6000 Frankfurt 1, Zeil 127	Dr. v. Hesler, A. Dipl.-Volksw. Krebs, J. Dr. Ligazzolo, G.

Inhaltsverzeichnis

Contents

			Seite/Page
I	Vergleichende Betrachtung der drei NATO-Studien	Comparison of the three NATO-studies	I
1.	Beschreibung des Untersuchungsgebietes	Description of the investigation area	1
1.1.	Bevölkerung und Verwaltung	Population and administration	1
1.2.	Topographie und Klima	Topography and climate	1
1.3.	Verteilung und Schwerpunktbildung der wirtschaftlichen Aktivitäten	Distribution and formation of center of gravity of the economic activities	2
1.3.1.	Primärer Sektor	Primary sector	9
1.3.2.	Sekundärer Sektor	Secondary sector	9
1.3.3.	Tertiärer Sektor	Tertiary sector	12
2.	Emittenten und Emissionen	Emittents and emissions	14
2.1.	Einführung	Introduction	14
2.2.	Aufstellungsmethode	Method of arrangement	14
2.2.1.	Industrie	Industry	16
2.2.2.	Hausbrand	Residential combustion	17
2.2.3.	Verkehr	Traffic	18
2.2.3.1.	Straßenverkehr	Road traffic	18
2.2.3.2.	Flugverkehr	Air traffic	22
2.2.3.3.	Schiffsverkehr	Shipping traffic	23
2.3.	Ergebnisse	Results	23
2.3.1.	Industrie	Industry	24
2.3.2.	Hausbrand	Residential combustion	45
2.3.3.	Verkehr	Traffic	45
2.4.	Literatur	Literature	47
3.	Luftqualitätsmessungen	Air quality measurements	48
3.1.	Einführung	Introduction	48
3.2.	Luftqualitätsmessungen des Institutes für Meteorologie und Geophysik	Air quality measurements of the Institute for Meteorology and Geophysics	48
3.2.1.	Luftqualitätsmessungen der vorhergehenden Jahre	Air quality measurements of the previous years	48
3.2.2.	Das Meßnetz	The measuring net	52
3.2.2.1.	Beschreibung der Meßstellen	Description of the measuring stations	52
3.2.2.2.	Geräte und Analysenmethoden	Appliances and methods of analysis	53
3.2.2.3.	Stationsbeschreibung	Description of the measuring station	60
3.2.2.4.	Meßdauer und Meßhäufigkeit	Duration and frequency of measurements	62
3.2.3.	Das Meßnetz in Betrieb	The measuring net in operation	63
3.2.3.1.	Zentrale Meßwerterfassung	Central inventory of measuring values	63
3.2.3.2.	Datenverarbeitung	Data processing	64
3.2.3.2.1.	Prozeßrechner	Process computer	64
3.2.3.2.2.	Großrechner	Electronic computer	66
3.2.4.	Ergebnisse der Immissionsmessungen	Results of the immission measurements	68
3.2.4.1.	Schwefeldioxid	Sulfur dioxide	68
3.2.4.2.	Staub	Dust	82
3.2.4.3.	Nitrose Gase (NO und NO_2)	Nitro gases (NO and NO_2)	82
3.2.4.4.	Co Zentralstation und City-Station Rathenauplatz	CO-Centralstation and City-station Rathenauplatz	84
3.2.4.5.	Meßergebnisse der City-Station Rundschauhaus	Measuring results of the City-station Rundschauhaus	87
3.2.5.	Literatur	Literature	92
3.3.	Luftqualitätsmessungen der Meß- und Prüfstelle	Air quality measurements of the Measuring- and Testing Agency	93
3.3.1.	Einführung	Introduction	93
3.3.2.	Das Meßnetz	The measuring net	93

			Seite/Page
3.3.2.1.	Sinn und Zweck des Meßnetzes	Sense and purpose of the measuring net	93
3.3.2.2.	Geräte und Analysenmethoden	Appliances and methods of analysis	94
3.3.2.3.	Stationsbeschreibung	Description of the measuring station	95
3.3.2.4.	Meßdauer und Meßhäufigkeit	Duration and frequency of measurements	95
3.3.3.	Probenahme	Sampling	95
3.3.3.1.	Das Meßnetz in Betrieb	The measuring net in operation	95
3.3.3.2.	Datenverarbeitung	Data processing	96
3.3.4.	Ergebnisse der Immissionsmessungen	Results of the immission measurements	99
3.3.5.	Literatur	Literature	99
3.4.	Luftqualitätsmessungen des Institutes für Wasser-, Boden- und Lufthygiene	Air quality measurements of the Institute for Water-, Soil- and Airhygienics	100
3.4.1.	Daß Meßnetz	The measuring net	100
3.4.1.1.	Sinn und Zweck des Meßnetzes	Sense and purpose of the measuring net	100
3.4.1.2.	Geräte und Analysenmethoden	Appliances and methods of analysis	100
3.4.1.3.	Stationsbeschreibung	Description of the measuring station	102
3.4.1.4.	Meßdauer und Meßhäufigkeit	Duration and frequency of measurements	102
3.4.2.	Probenahme	Sampling	102
3.4.2.1.	Das Meßnetz in Betrieb	The measuring net in operation	102
3.4.2.2.	Datenverarbeitung	Data processing	103
3.4.3.	Ergebnisse der Immissionsmessungen	Results of the immission measurements	103
4.	Luftqualitätsmessungen infolge von Immissionswirkungen auf Flechten – Flechten als Bioindikatoren	Air qualitiy measurements on account of immission influences on lichens – lichens as bio-indicators	116
4.1.	Einführung	Introduction	116
4.2.	Kartierung des natürlichen Flechtenvorkommens	Map plotting of natural lichen occurences	116
4.2.1.	Methode	Method	116
4.2.2.	Ergebnisse	Results	117
4.3.	Flechtenexplantate	Lichen explants	124
4.4.	Zusammenfassung	Summary	127
4.5.	Literatur	Literature	127
5.	Meteorologische Messungen	Meteorological measurements	128
5.1.	Einführung	Introduction	128
5.1.1.	Ziel der Untersuchung	Aim of the investigation	129
5.2.	Meßverfahren	Measuring procedures	129
5.2.1.	Sondermeßnetz (Temporäres Meßnetz)	Special measuring net (temporary measuring net)	130
5.2.2.	Meßgeräte	Measuring instruments	131
5.2.2.1.	Sondermeßnetz (Temporäres Meßnetz)	Special measuring net (temporary measuring net)	131
5.2.2.2.	Kleinaerologischer Meßzug	Equipment for micro-and meso-meteorological field studies	132
5.3.	Klimaelemente und meteorologische Parameter	Climatological elements and meteorological parameters	133
5.3.1.	Ergebnisse des meteorologischen Beobachtungsnetzes	Results of the meteorological observation net	133
5.3.1.1.	Klimaräume und Klimabezirke	Climatic regions and climatic districts	133
5.3.1.2.	Temperatur-, Feuchte-, Niederschlagsverhältnisse und Sonnenscheindauer des langen Zeitraumes im Vergleich zu Juli 1971 – Juni 1972	Temperature-, humidity-, precipitation conditions and sunshine duration of the long period in comparison with July 1971 – June 1972	137
5.3.1.3.	Windverhältnisse	Wind conditions	143
5.3.1.3.1.	Zeitraum 1951 – 1960	Period 1951 – 1960	143
5.3.1.3.2.	Zeitraum Juli 1971 – Juni 1972	Period July 1971 – June 1972	144
5.3.2.	Ergebnisse des Sondermeßnetzes (temporäres Meßnetz)	Results of the special measuring net (temporary measuring net)	147

			Seite/Page
5.3.2.1.	Temperatur und relative Feuchte	Temperature and relative humidity	147
5.3.2.2.	Wind	Wind	156
5.3.2.2.1.	Windverhältnisse während ausgewählter Wetterlagen	Wind conditions during selected weather conditions	156
5.3.2.2.2.	Windverteilungen während ausgewählter Wetterlagen im Vergleich zur Windverteilung des Jahres 1971/72	Wind distribution during selected weather conditions in comparison with the wind distribution in 1971/72	165
5.3.3.	Profilmeßfahrten durch Frankfurt/Main	Horizontal profile field measurements of temperature and wet bulb temperature from mobile stations through Frankfurt/Main	167
5.3.4.	Schwebeballonvermessungen in einem Taunustal	Constant-level balloon measurements in a Taunus valley	172
5.3.5.	Ausbreitungsverhältnisse	Diffusion conditions	173
5.3.5.1.	Ausbreitungsklassen nach Klug	Diffusion classes by Klug	173
5.3.5.2.	Auswahl geeigneter Wetterlagen zur Anwendung eines Ausbreitungsmodelles	Selection of appropriate weather conditions for the application of a diffusion model	176
5.4.	Literatur	Literature	180
6.	Modell für die Luftqualitätsbestimmung	Model for the determination of air quality	181
6.1.	Einführung	Introduction	181
6.2.	Durchführung der Modellrechnungen	Implementation of model calculations	181
6.2.1.	Der Input von Statistiken meteorologischer Ausbreitungsparameter	Input of statistics of meteorological diffusion parameters	181
6.2.2.	Emissionskataster	Emission inventory	184
6.2.3.	Die Struktur des mathematischen Modells	The structure of the mathematical model	193
6.3.	Ergebnisse	Results	193
6.4.	Literatur	Literature	217
7.	Prognose der Luftqualität	Prognosis of air quality	218
7.1.	Einführung	Introduction	218
7.2.	Die Prognose der Bevölkerungs- und Beschäftigtenentwicklung bis 1985	Prognosis of the development of population and employees until 1985	218
7.2.1.	Die Bevölkerungsentwicklung	Development of population	218
7.2.2.	Die Beschäftigtenentwicklung	Development of employees	219
7.2.2.1.	Primärer Sektor	Primary sector	219
7.2.2.2.	Sekundärer Sektor	Secondary sector	219
7.2.2.3.	Tertiärer Sektor	Tertiary sector	219
7.3.	Der Energiebedarf im Jahre 1985	The need of energy in the year 1985	223
7.3.1.	Methode zur Berechnung des Energiebedarfs	Method for the calculation of the need of energy	223
7.3.1.1.	Industrie	Industry	223
7.3.1.2.	Haushalte	Households	224
7.3.1.3.	Verkehr	Traffic	225
7.3.2.	Ergebnisse	Results	228
7.4.	Emissionen im Jahre 1985	Emissions in the year 1985	230
7.4.1.	Methode zur Berechnung der Emissionen	Method for calculating the emissions	230
7.4.2.	Ergebnisse	Results	230
7.5.	Literatur	Literature	232

Kartographische Bearbeitung:
Heinz-Martin Ritterbusch
Sylvia Hiestand

Die Kartengrundlagen (Top. Karten 1 : 100 000 und 1 : 200 000) wurden mit Genehmigung des Hessischen Landesvermessungsamtes Wiesbaden unter der Verv.-Nr. 210/70 vervielfältigt.

Übersetzung der Karten- und Abbildungstexte:
Gisela Harp

Satz: Typosatz F. Gagelmann
6230 Frankfurt am Main 80
Alte Falterstraße 13

Druck: Max Dorn Presse KG
Buchdruck & Offsetdruck
605 Offenbach am Main
Waldstraße 185

Cartographical preparations:
Heinz-Martin Ritterbusch
Sylvia Hiestand

The basis of mapping (topographical maps 1 : 100 000 and 1 : 200 000) were printed under the printing number 210/70 by authority of Hessisches Landesvermessungsamt Wiesbaden.

Translation of the maps- and figures-explanation:
Gisela Harp

Mechanical composition: Typosatz F. Gagelmann
6230 Frankfurt am Main 80
Alte Falterstraße 13

Printing: Max Dorn Presse KG
Buchdruck & Offsetdruck
605 Offenbach am Main
Waldstrasse 185